



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV BIOMEDICÍNSKÉHO INŽENÝRSTVÍ

DEPARTMENT OF BIOMEDICAL ENGINEERING

DETEKCE PÁDU POMOCÍ CHYTRÉHO TELEFONU

SMARTPHONE-BASED FALL DETECTION

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Jakub Strejček

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Andrea Němcová

BRNO 2019

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor **Biomedicínská technika a bioinformatika**

Ústav biomedicínského inženýrství

Student: Jakub Strejček

ID: 192021

Ročník: 3

Akademický rok: 2018/19

NÁZEV TÉMATU:

Detekce pádu pomocí chytrého telefonu

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1) Nastudujte problematiku detekce pádu člověka a využití chytrého telefonu pro tento účel. Prostudujte také principy a funkčnost mobilních aplikací pro detekci pádu. 2) Vytvořte databázi signálů nasnímaných pomocí chytrého telefonu při různých způsobech pádu. 3) Vytvořte algoritmus pro detekci pádu. Pokuste se odlišit pád člověka od pádu samotného telefonu. 4) Otestujte a optimalizujte algoritmus. Statisticky vyhodnoťte úspěšnost navrženého algoritmu. 5) Vytvořte mobilní aplikaci pro chytré telefony. 6) Diskutujte dosažené výsledky, použitelnost aplikace, výhody a nevýhody. Porovnejte váš algoritmus s ostatními autory.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] HSU, Y.-W., K.-H. CHEN, J.-J. YANG a F.-S. JAW. Smartphone-based fall detection algorithm using feature extraction. In: 2016 9th International Congress on Image and Signal Processing, BioMedical Engineering and Informatics (CISP-BMEI) [online]. IEEE, 2016, 2016, s. 1535-1540. DOI: 10.1109/CISP-BMEI.2016.7852959. ISBN 978-1-5090-3710-0.

[2] LAPIERRE, N., N. NEUBAUER, A. MIGUEL-CRUZ, A. RIOS RINCON, L. LIU a J. ROUSSEAU. The state of knowledge on technologies and their use for fall detection: A scoping review. International Journal of Medical Informatics [online]. 2018, 111, 58-71. DOI: 10.1016/j.ijmedinf.2017.12.015. ISSN 13865056.

Termín zadání: 4.2.2019

Termín odevzdání: 24.5.2019

Vedoucí práce: Ing. Andrea Němcová

Konzultant:

prof. Ing. Ivo Provazník, Ph.D.
předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

Abstrakt

Práce pojednává o základním zpracování dat z akcelerometru v mobilním telefonu k detekci jeho pádu, resp. detekci pádu osoby, která má mobilní telefon u sebe. Správnou detekcí pádu lze v budoucnu předejít mnoha vážným zdravotním komplikacím způsobených pozdě přivolanou pomocí po pádu osoby, která by si již pomoc zavolat nezvládla. Jsou zde zmíněné mechanismy pádů a jejich charakteristiky a hardware, který je použit při detekci pádu. Dále se práce zabývá vytvořenými aplikacemi pro Android stažené z Google Play a jejich funkcí. V rámci práce byla sbírána data o pádech osoby a byl vytvořen algoritmus na detekci pádu v Matlabu. Dále byla vytvořena a testována aplikace pro chytré telefony se systémem Android.

Klíčová slova

Akcelerometr, chytrý telefon, detekce pádu, lineární zrychlení, úhlové zrychlení, vektor zrychlení, Android, aplikace, pád, MIT App Inventor

Abstract

This bachelor thesis deals with basic processing of data from accelerometer in smartphone, which is used for fall detection of people. By right detection we could prevent many serious injuries caused by delayed help to people, who were unable to call for help. This paper focuses on the mechanisms of falls and their characteristics and also on hardware used for fall detection. Furthermore, already created Android applications from Google Play and their functionality are studied. In addition to that there were collected data about people falls and an algorithm for detection of fall was created in Matlab. Android smartphone application was developed and tested in this work.

Keywords

Accelerometer, smartphone, fall detection, angular acceleration, linear acceleration, acceleration vector, application, fall, MIT App Inventor

Bibliografická citace:

STREJČEK, J. *Detekce pádu pomocí chytrého telefonu*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2019. 54 s. Vedoucí práce Ing. Andrea Němcová.

Prohlášení

„Prohlašuji, že svou závěrečnou práci na téma detekce pádu pomocí chytrého telefonu jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucí bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené závěrečné práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této závěrečné práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne 20. 5. 2019

.....
podpis autora

Poděkování

Děkuji vedoucí bakalářské práce Ing. Andree Němcové, za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé bakalářské práce.

V Brně dne 20. května 2019

.....
podpis autora

Obsah

1	Úvod	1
2	Pád	2
2.1	Definice pádu	2
2.2	Klasifikace pádů	2
2.2.1	Mechanické pády	2
2.2.2	Symptomatické pády	2
2.3	Zranění vzniklá při pádu	3
2.4	Prevence pádu	3
2.5	Postup při pádu osoby	3
3	Aplikace pro Android detekující pád	4
3.1	Aplikace z Google Play	4
3.1.1	Společné rysy aplikací	4
3.1.2	Emergency Fall Detector	5
3.1.3	Fade: fall detector	6
3.1.4	Fall Warner	7
4	Použitý hardware	8
4.1	Hardware použitelný k detekci pádu	8
4.1.1	Akcelerometr	8
4.1.2	Gyroskop	9
4.2	Zvýšení přesnosti, signalizace pádu, poloha osoby	10
4.2.1	Mikrofon	10
4.2.2	Reproduktor	10
4.2.3	GPS	11
5	Sběr dat	12
5.1	Druhy pádů	12
5.1.1	Zakopnutí	12
5.1.2	Omdlení	13
5.2	Místo uložení zařízení	13
6	Předzpracování signálu	14
6.1	Výpočet vektorů, použitých k detekci pádu	14
7	Detekce pádu	17
7.1	Detekce z vektoru Agv	17
7.2	Detekce pomocí prahování signálu a pravidel	18
8	Návrh a realizace v Matlabu	21
8.1	Algoritmus detekce	21
8.2	Změny v charakteristikách pádu	23
8.3	Skórovací mechanismus	23

8.3.1	Detekce záporného kmitu.....	26
8.3.2	Diference	26
8.3.3	Propadnutí před pádem	27
8.3.4	Kontrola pádu.....	27
8.3.5	Pád samotného mobilu	28
8.4	Zhodnocení algoritmu.....	29
9	Vytvoření aplikace pro android	30
9.1	MIT App Inventor	30
9.2	Algoritmus detekce	30
9.3	Nastavení aplikace.....	32
9.3.1	Ukládání dat	33
9.3.2	Kontrola pádu mobilu	34
9.3.3	Testovací režim.....	34
9.3.4	Výběr kontaktu a forma upozornění	34
9.3.5	Doba čekání na zrušení upozornění	34
9.4	Upozornění na pád	35
9.5	Omezení aplikace	36
9.5.1	Běh aplikace na pozadí	36
9.5.2	Uložení nastavení.....	36
9.5.3	Volání pomoci.....	36
9.5.4	Výpočet vektorů	37
9.5.5	Vzorkovací frekvence	37
9.6	Zhodnocení algoritmu.....	38
9.7	Porovnání s jinými aplikacemi	38
10	Diskuse	40
11	Závěr	41
	Bibliografie	42

Seznam obrázků

Obrázek 3.1 Signalizace pádu v aplikaci Emergency Fall Detector.....	5
Obrázek 3.2 Signalizace pádu (vlevo) a vzhled (vpravo) aplikace Fade: fall detector	6
Obrázek 3.3 Nastavení profilu (vlevo) a detekce pádu (vpravo) v aplikaci Fall Warner.....	7
Obrázek 4.1 Osy akcelerometru [7]	8
Obrázek 4.2 Princip kapacitního akcelerometru, upraveno podle [9]	9
Obrázek 4.3 Schématické zobrazení konstrukce MEMS mikrofónu, upraveno podle [11].....	10
Obrázek 4.4 Schématické zobrazení konstrukce reproduktoru, [12].....	11
Obrázek 5.1 Porovnání zakopnutí a zakopnutí při chůzi do schodů, vektor $Alim$...	12
Obrázek 5.2 Porovnání omdlení a zakopnutí, vektor Gca	13
Obrázek 5.3 Srovnání pádu v závislosti na umístění na vektoru $Alim$	13
Obrázek 6.1 Demonstrace všech vypočtených signálů.....	16
Obrázek 7.1 Porovnání pádu a manipulace s mobilem na vektoru Agv	17
Obrázek 7.2 Schéma základního algoritmu pro detekci pádu, převzato a přeloženo z [20].	18
Obrázek 7.3 Začátek a konec pádu/peaku, intervaly a jejich hodnoty ve vektoru Aom	20
Obrázek 8.1 Blokové schéma algoritmu pro detekci pádu.....	22
Obrázek 8.2 Skórovací mechanismus algoritmu pro detekci pádu v Matlabu	25
Obrázek 8.3 Porovnání vektorů Agv při pádu osoby a samotného mobilu	26
Obrázek 8.4 Srovnání pádu mobilu a pádu osoby na vektoru dif	27
Obrázek 8.5 Porovnání pádu osoby a mobilu na vektoru Gca	28
Obrázek 9.1 Diagram algoritmu aplikace pro Android	32
Obrázek 9.2 Nastavení aplikace a zobrazení upozornění při vypnutí detekce položení mobilu	33
Obrázek 9.3 Zobrazení detekovaného pádu	35

Seznam tabulek

Tabulka 7.1 Jednotlivé intervaly, hodnoty a jejich prahy, příp. výpočty [20].....	20
Tabulka 8.1 změny ve výpočtu začátku konci pádu/peaku.....	23
Tabulka 8.2 Změny v hranicích charakteristiky pádu.....	23
Tabulka 9.1 Změny v hranicích a výpočtech charakteristik pádu.....	31
Tabulka 9.2 Srovnání aplikací	39

1 ÚVOD

Pomocí mobilního telefonu a jeho hardwaru jsme schopni rozpoznávat základní pohyby osoby, která má mobilní přístroj u sebe. Pomocí akcelerometru jsme schopni např. počítat kroky, pomocí GPS určujeme polohu. Díky těmto zařízením bychom mohli i rozpoznávat složitější, a ne tak časté pohyby, např. pád, které by nám pomohly se záchranou osob po pádu.

V případě pádu starší osoby, např. seniora, se zatím spoléhá na prevenci v podobě chodítek, holí a zábradlí, které by měly co nejvíce riziko pádu snížit. Pokud k pádu dojde, nejčastěji se spoléhá na schopnost seniora si zavolat o pomoc verbálně, nebo pomocí signalizačních systémů, které jsou umístěny např. v nemocnicích, na toaletách pro tělesně postižené nebo v domovech pro seniory. V bytech seniorů se tyto systémy spíše neinstalují, a tak je odkázán pouze na pomoc sousedů. Většinou se však jedná o poměrně náročné systémy na realizaci a jsou i finančně nákladné a nelze je tedy nainstalovat všude. Existují také náramková SOS tlačítka, která může osoba v případě potřeby zmáčknout a přivolat si pomoc odesláním SMS. Bohužel tyto systémy vždy předpokládají alespoň nějakou schopnost osoby si pomoc zavolat. Jako doplnění těchto systémů může posloužit chytrý telefon, který může umět zavolat pomoc automaticky.

Chytrým telefonem samozřejmě zatím disponuje pouze malé procento seniorů, podle statistiky Českého statistického úřadu jde o necelých 15 % v roce 2018 [1], nicméně lze předpokládat, že se počet seniorů s chytrým telefonem bude zvyšovat. Vytvořením aplikace, která by uměla nejen rozpoznat pád, ale i následně přivolat pomoc, bychom mohli zmenšit riziko zranění, nebo i zachránit životy upadnuvších seniorů, ale i jiných osob.

2 PÁD

Rizikové faktory, které zvyšují šanci upadnout jsou např.: věk, omezení pohyblivosti, chronická onemocnění, ale i třeba léky, které osoba užívá. Nejvíce ohroženou skupinou lidí jsou senioři, tedy osoby starší 65 let. Mezi poruchy pohyblivosti lze zařadit např. roztroušenou sklerózu nebo již dříve zlomenou končetinu. Chronickým onemocněním je myšlen např. diabetes mellitus. [2]

V roce 2015 bylo zaznamenáno přes 4000 pádů přímo ve zdravotnických zařízeních, resp. u hospitalizovaných pacientů, z toho zhruba 320 pádů způsobilo těžká zranění. Do projektu, během kterého se tato data sbírala, se aktivně zapojilo 19 nemocnic a celkový počet hospitalizovaných pacientů v nemocnicích ve věku nad 65 let byl 183 393. [3]

2.1 Definice pádu

WHO (World Health Organization) definuje pád jako: „Událost, která vede k neúmyslnému spočinutí osoby na zemi, na podlaze nebo na jiné nižší úrovni.“ Úrazy spojené s pádem mohou být lehké, těžké nebo smrtelné. Většina pádů se řadí mezi ty, které způsobí lehká zranění. [4]

2.2 Klasifikace pádů

K lepšímu pochopení příčin pádů budou rozděleny do dvou hlavních skupin, a to do mechanických a symptomatických pádů [5]. Jedná se o rozdělení podle jejich příčiny.

2.2.1 Mechanické pády

Příčinou těchto pádů jsou mechanické překážky, které zabrání osobě ve správném pohybu a způsobí tak její pád. Mezi tyto překážky se řadí např. schody, nábytek nebo kluzký či nerovný povrch. Mohou zde být zařazeny i věci, které by osobě měly sloužit jako prevence proti pádu, a to např. berle nebo špatně upevněné zábradlí či nestabilní nábytek. Mechanické pády tvoří asi 25-30 % všech pádů seniorů. [5]

2.2.2 Symptomatické pády

Tyto pády tvoří až 75 % všech pádů a řadí se mezi ně pády, které mají somatický původ. Příčinou těchto pádů může být např. epilepsie, srdeční arytmie a selhání, nemoci pohybového aparátu, nízký tlak a následná synkopa (mdloby) a další onemocnění, která snižují pohyblivost osoby. Do této kategorie se řadí i pády způsobené léky, alkoholem nebo návykovými látkami. [5]

2.3 Zranění vzniklá při pádu

Jak již bylo uvedeno v úvodu této kapitoly, pády dělíme na lehké, těžké a smrtelné. Tyto pády jsou odvozené od zranění, která u nich mohou vzniknout. Lehká zranění jsou např. oděrky a pohmožděniny. Mezi těžká zranění se řadí různé fraktury a úrazy hlavy. U seniorů velice často dochází ke zlomenině krčku kosti stehenní a frakturám obratlů. Po pádu se často u seniorů objevuje strach a úzkost z pádu. Seniorům pád může snížit sebevědomí a může tak snižovat jejich fyzickou aktivitu, aby se nevystavovali nebezpečí pádu, což vede ke snížení svalové síly a omezení schopnosti udržet rovnováhu. To však opět vede ke zvýšení rizika pádu. [5]

2.4 Prevence pádu

Podle WHO by měla být prevence pádů komplexní a mnohostranná. Měla by upřednostňovat iniciativy v oblasti výzkumu veřejného zdraví, které zkoumají rizika pádů a využívají účinné strategie prevence. Aby byla prevence pádu účinná, má mít za cíl snížit počet osob, které upadnou, rychlost pádů a závažnost poranění v případě, že k pádu dojde. [4]

Mezi konkrétní příklady prevence patří hlavně dostatečné proškolení osob ohrožených pádem i osob, které se vyskytují v jejich okolí – rodina, popř. personál v nemocnicích. Dále sem patří vyšetření k identifikaci rizikových faktorů a jejich léčba, jako je léčba nízkého krevního tlaku, doplňování vitamínu D, vápníku a léčba zhoršeného zraku. Předepisování vhodných rehabilitačních pomůcek může pomoci ke zvyšování fyzické síly, a tak snížit riziko pádu. WHO také doporučuje cvičení typu Tai Chi, nebo použití chráničů kyčlí u osob, které jsou ohrožené zlomeninou krčku stehenní kosti. [4]

2.5 Postup při pádu osoby

V případě, že dojde k pádu a následnému zranění osoby, seniora, je potřeba tuto skutečnost oznámit a následně osobu vyšetřit v závislosti na způsobeném zranění. Pokud osoba upadne a v okolí se nachází zdravotnický personál (např. nemocnice či pečovatelské zařízení), ohlásí tuto událost personálu, který následně vyplní formulář o pádu a dohlédne na vyšetření seniora. Pád ale může nastat i v nepřítomnosti zdravotnického personálu. Pokud dojde k pádu např. u seniora v bytě, je odkázaný pouze na sebe a na svoji schopnost si zavolat pomoc. Buď verbálně skrze jinou osobu (sousedí/rodina), nebo skrze RZS (rychlá záchranná služba) na tísňové lince. [6]

3 APLIKACE PRO ANDROID DETEKUJÍCÍ PÁD

Aplikace určené k detekci pádu pro Android jsou dostupné ke stažení na Google Play. Autorovi práce se však nepodařilo najít aplikaci, která by měla svůj kód otevřený a mohl by ho tedy prozkoumat a případně se jím inspirovat. Pozornost tedy bude zaměřena na GUI (Graphical User Interface) a funkčnost aplikací dostupných na Google Play.

3.1 Aplikace z Google Play

Na oficiálním obchodu, kde jsou ke stažení dostupné aplikace bylo k 14. 12. 2018 asi 20 aplikací, které obsahovaly názvy „fall detector“, „fall detection“ apod. Prozkoumat všechny aplikace by bylo velmi časově náročné, proto bylo vzato v úvahu prvních 20 aplikací, které se zobrazily po vyhledávání hesla „fall detector“. Byly brány v úvahu pouze dostupné aplikace s hodnocením více než 3 z 5 možných hvězdiček. Vyřazeny byly také aplikace, které byly zaměřeny na pád a rozbití mobilu, ne na detekci pádu osoby, která má mobil u sebe, a aplikace pro nositelnou elektroniku. K prozkoumání zbyly 4 aplikace: „Emergency Fall Detector“, „Fade: fall detector“, „Fall Warner“, „Seizario: Seizure and Fall Detection“. Poslední jmenovaná aplikace má více funkcí, detektor pádu se však musí aktivovat pomocí dříve zakoupeného klíče, proto na ni nebude brán ohled. Aplikace byly testovány na zařízeních Samsung Galaxy J5 (2016) SM-J510FN a Nokia 3 TA-1032. [7]

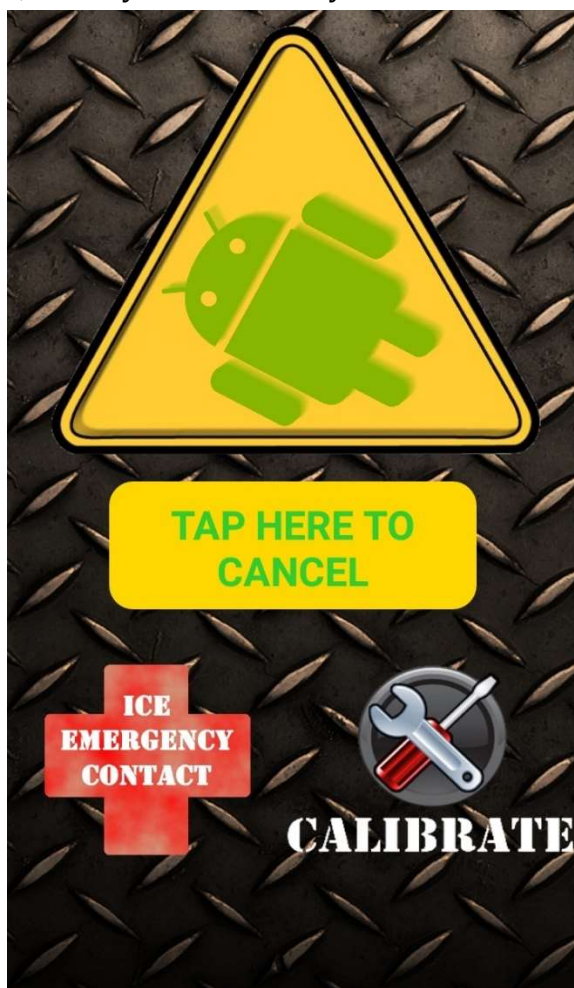
3.1.1 Společné rysy aplikací

Většina aplikací vyžaduje spoustu oprávnění, která jsou nutná ke správné funkci detektoru. Přístup je vyžadován např. k informacím o poloze, účtům v zařízení, kontaktům, odesílání SMS zpráv a volání, síti, změně nastavení zvuku apod. V dalších částech vyplyne, k čemu jsou tyto informace důležité. Po odsouhlasení přístupu většina aplikací vyžaduje kalibraci, každá aplikace však jinak. Některé vyžadují položení mobilu na vodorovnou plochu, jiné však požadují, aby uživatel mobilem třásl. Položením mobilu na vodorovnou plochu se pravděpodobně aplikace ujistí o nastavení os. Po tomto kroku se již aplikace od sebe začínají více lišit. Některé vyžadují nastavení „nouzových“ telefonních čísel, jiné dovolují zkušební režim.

3.1.2 Emergency Fall Detector

Aplikace nemá zkušební režim a kalibrace je vyžadována formou simulace pádu. Po uživateli je vyžadováno zadat alespoň jedno telefonní číslo ze tří možných. Je možné nastavit senzitivitu, odesílání GPS souřadnic a zvukové upozornění na pád. Také je možnost nastavit „čekání na pohyb po detekovaném pádu“, což pravděpodobně snižuje šanci na falešně pozitivní detekci v případě, že osoba např. pouze rychle změní svoji polohu, nicméně se může v pořádku pohybovat dále. Čas, po který se takto čeká na pohyb, není specifikovaný. Jakmile tato doba uplyne a nebyl detekován pohyb, dojde k signalizování pádu.

Po nastavení telefonního čísla a kalibraci byl simulován pád. na obrázku 3.1 je vidět, jak vypadalo upozornění na pád. Byla možnost pád odvolat. Asi 10 s bylo signalizováno zvukové upozornění, které poté utichlo a mobil jen vibroval. Z aplikace byla odeslána SMS zpráva na uvedený kontakt ve tvaru: *Emergency Fall Detected! Latitude=X Longitude=Y: From Emergency Fall Detector*. GPS souřadnice se odeslaly i v případě, že nebyla tato volba vybrána v nastavení.

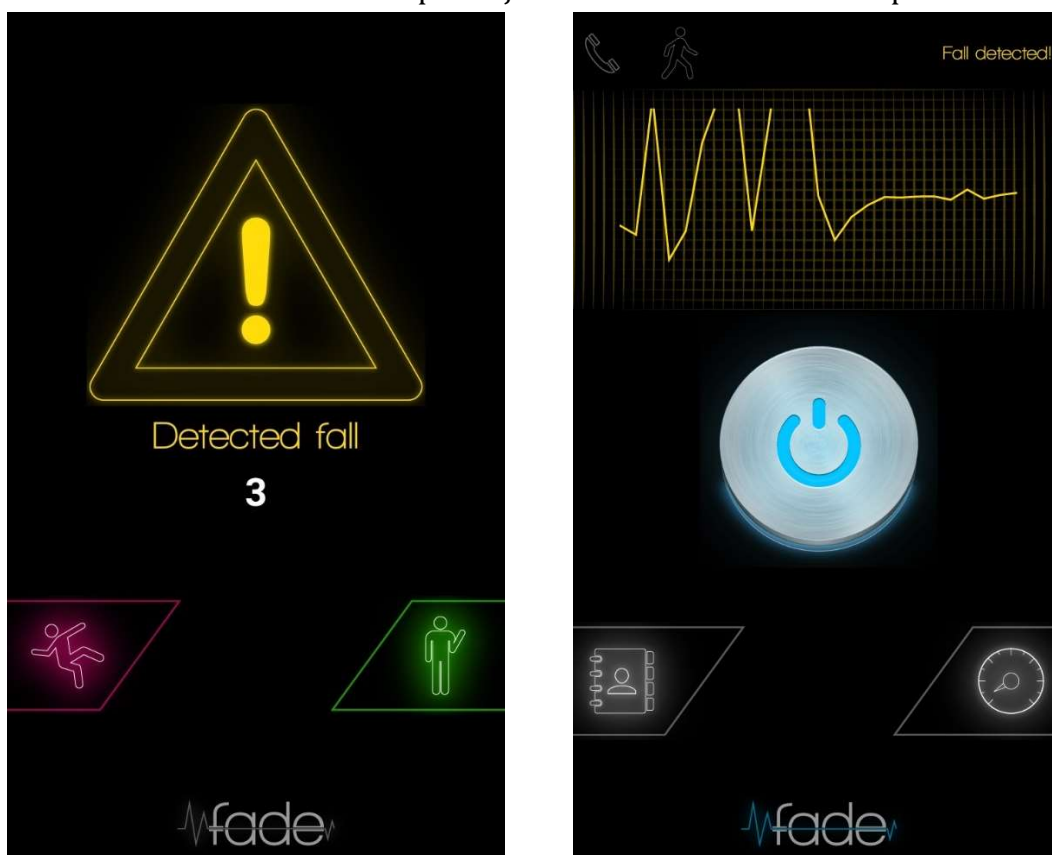


Obrázek 3.1 Signalizace pádu v aplikaci Emergency Fall Detector

3.1.3 Fade: fall detector

Aplikace dovoluje zkušební režim, nastavení 3 citlivostí (vysoká, střední a nízká), výběr kontaktu a možnost odeslat email, SMS nebo uskutečnit telefonní hovor, výběr zvuku upozornění ze všech zvuků uložených v mobilu a volbu zvuk/vibrace/obojí. Poslední položkou v nastavení je doba, která uplyne od detekce pádu a je možné ji nastavit od 10 s do 90 s. V nastavené době má možnost uživatel odvolat signalizování pádu. Po uplynutí nastavené doby, odešle telefon výstražnou zprávu, nebo vyvolá telefonní hovor. Pro kalibraci vyžaduje aplikace položení mobilu na vodorovnou podložku.

Ve zkušebním režimu však aplikace upozorňuje na detekovaný pád i při běžné chůzi, a to i v případě, že je nastavena nízká citlivost. Při „ostrém“ provozu aplikace také velmi často detekuje pád, nicméně nastavené upozornění je odesláno až po 5 s, kdy se osoba nepohybuje (leží na zemi) a čas dle nastavení má uživatel na to, aby zrušil odeslání SMS, e-mailu nebo uskutečnění hovoru. Po detekci se zobrazí upozornění (obrázek 3.2 vlevo) a uživatel má možnost odpočet zrušit kliknutím na zeleného panáčka, odeslat upozornění okamžitě kliknutím na červeného panáčka, nebo nemusí dělat nic a po odpočtu se upozornění samo odešle. Na obrázku 3.2 vpravo je zobrazen normální chod aplikace.

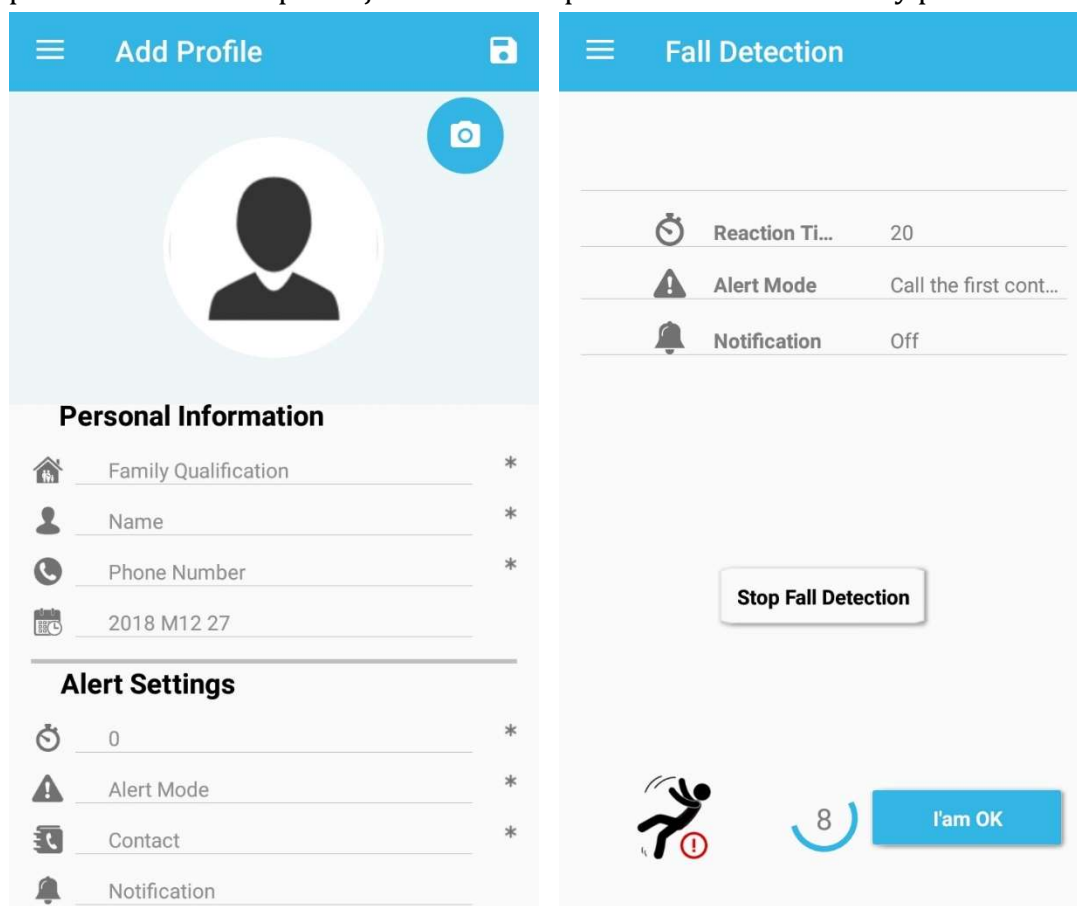


Obrázek 3.2 Signalizace pádu (vlevo) a vzhled (vpravo) aplikace Fade: fall detector

3.1.4 Fall Warner

Aplikace nevyžaduje žádnou kalibraci a při prvním spuštění se uživateli zobrazí krátký manuál. Je možnost nastavit více profilů uživatele, což může sloužit k půjčování zařízení mezi více lidí např. v pečovatelských domech. U každého uživatele lze zvolit více kontaktů, na které se odešle upozornění v případě pádu a dobu, kterou bude zařízení vyčkávat do odeslání varovné zprávy. Lze odeslat e-mail, SMS, nebo lze zavolat na první z uvedených kontaktů.

V případě detekovaného pádu se, pokud je tak nastaveno, zobrazí na liště upozornění na detekovaný pád a uživatel má čas na odvolání poplašné zprávy. Musí však aplikaci nejprve zapnout a doklikat se v nastavení k jejímu zrušení, tedy tlačítku „I'm OK“. Pokud uživatel odeslání zprávy nezruší, je na uvedený kontakt odeslána následující SMS: „A Fall is detected ; USER NAME needs immediate help !“. V případě, že je nastaveno volání, je vyvolán hovor, ale v případě nastavení e-mailu, nebyla odeslána žádná zpráva, ani e-mail. Aplikace také ukládá GPS souřadnice pádů a je možnost je zobrazit na mapě. Na obrázku 3.3 vlevo je zobrazeno nastavení profilu uživatele a vpravo je zobrazeno upozornění na detekovaný pád.



Obrázek 3.3 Nastavení profilu (vlevo) a detekce pádu (vpravo) v aplikaci Fall Warner

4 POUŽITÝ HARDWARE

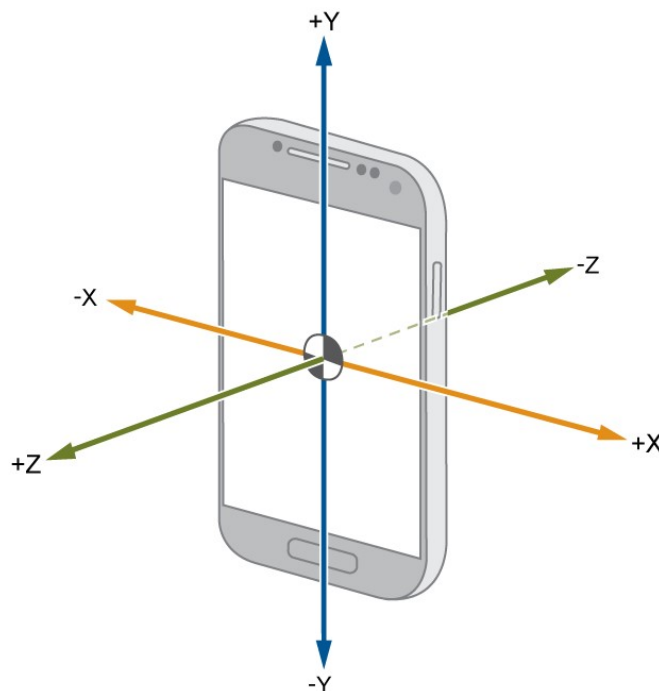
K detekci pádu lze použít více algoritmů i více různých zařízení. Většina již vyvinutých aplikací kombinuje více způsobů, které budou popsány níže. Doposud jsou aplikace na detekci pádu vydávány především pro chytré zařízení s operačním systémem Android, Windows a iOS. Aplikace však nemusí být nainstalována pouze do mobilu, ale může fungovat i v hodinkách. Apple Watch Series 4 již takovouto aplikací disponují. Následující část práce se bude věnovat detekci pádu pomocí chytrého telefonu a hardwarovým součástkám vhodným pro tuto detekci.

4.1 Hardware použitelný k detekci pádu

Každé zařízení je mírně odlišné svou hardwarovou výbavou. K co nejúčinnější detekci pádu je potřeba také co nejvíce informací, které nám budou poskytovat jednotlivé senzory z mobilu. Některé senzory nejsou využity k samotné detekci, ale třeba k volání pomoci či zjištění pozice zraněné osoby.

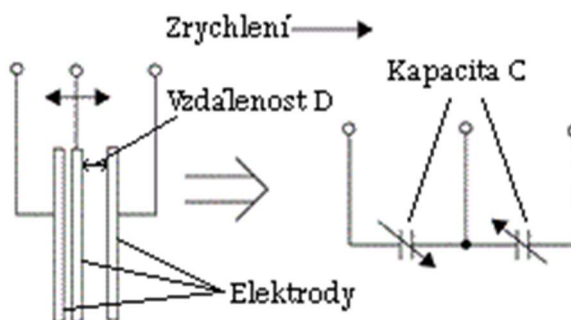
4.1.1 Akcelerometr

Jedním z nejdůležitějších senzorů v mobilu pro detekci pádu jsou elektromechanické senzory, které měří akceleraci, tedy zrychlení. Akcelerometr nám dává informace o pohybu mobilu ve 3 osách: x, y a z tak, jak je znázorněno na obrázku 4.1. [8]



Obrázek 4.1 Osy akcelerometru [7]

V mobilních telefonech se používají piezoelektrické nebo kapacitní akcelerometry. Piezoelektrický akcelerometr je nejběžnější formou v mobilních zařízeních a využívá vlastnosti některých krystalových struktur, které po mechanickém pohybu generují napětí na svém povrchu. Kapacitní akcelerometry jsou založené na změně kapacity mezi dvěma destičkami. Dnes jsou již všechny akcelerometry v mobilech vyráběny technologií MEMS (MicroElectroMechanical Systems), čímž se dosáhne miniaturních rozměrů. Princip kapacitního akcelerometru v jedné ose je znázorněn na obrázku 4.2. [9]



Obrázek 4.2 Princip kapacitního akcelerometru, upraveno podle [9]

Závislost kapacity C na vzdálenosti elektrod D je dle vzorce 4.1:

$$C = \varepsilon \cdot \frac{S}{D}. \quad (4.1)$$

Plocha elektrod S a permitivita ε se nemění, tudíž kapacita C závisí pouze na vzdálenosti elektrod. [9]

Akcelerometr bude hrát při detekci pádu největší roli. Pomocí algoritmu budou hledány nasnímané úseky, které by mohly odpovídat pádu.

4.1.2 Gyroskop

Pomocí gyroskopu se nejčastěji určuje změna naklonění a natočení zařízení, resp. jeho rotace. Gyroskop je tedy zařízení, které měří úhlovou rychlost. V levnějších zařízeních ale není, protože ho lze pro většinu aplikací nahradit akcelerometrem, z jehož dat lze polohu zařízení vypočítat také. Spojením gyroskopu a akcelerometru však můžeme určit přesnější pohyb telefonu ve všech osách i se směrem výsledného pohybu telefonu. Funkce gyroskopů je nejčastěji založena na piezoelektrickém jevu. Do mobilních zařízení se vyrábí pomocí technologie MEMS, aby bylo dosaženo co nejmenší velikosti. [10]

Teoreticky by šel gyroskop použít k přesnější detekci pádu a upřesnění pohybu mobilu a na analýzu jeho pádu.

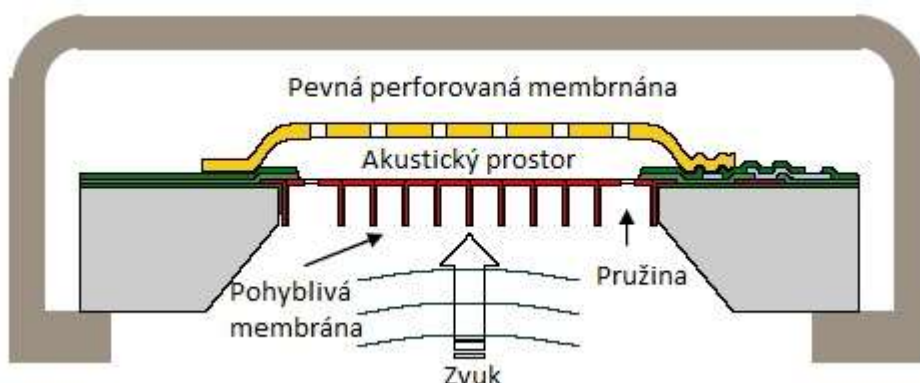
4.2 Zvýšení přesnosti, signalizace pádu, poloha osoby

Je velice těžké rozlišit pád člověka od pádu samotného mobilu. K tomu mohou určitým způsobem pomoci další součástky, které se do mobilů přidávají. Samotná detekce pádu však k ničemu nebude, pokud by nebylo možné, zajistit pomoc pro zraněnou osobu. V následujících podkapitolách budou popsány některé tyto součástky mobilních telefonů.

4.2.1 Mikrofon

Mikrofony do mobilních zařízení se dnes vyrábí opět technologií MEMS. Nazývají se kapacitní a již z názvu lze tedy odvodit jejich princip. Mikrofon je tvořen dvěma membránami – elektrodami – pevnou a pružnou. Pevná membrána má v sobě malé otvory a je tedy necitlivá ke změnám akustického tlaku. Pohyblivá membrána je snímací a je připevněna ke křemíkovému substrátu pomocí křemíkových pružin. Pevnost jí dodávají žebra, která jsou také tvořena křemíkem. Pohybem této elektrody se mění vzdálenost mezi oběma elektrodami, a tedy i kapacita kondenzátoru. Schématické zobrazení konstrukce je na obrázku 4.3. [11]

Mikrofon by mohl být použit k ověření, že si osoba nemůže zavolat pomoc sama a je potřeba jí pomoc přivolat. Pokud by došlo k pádu na místě, kde se vyskytují potenciální záchránci, nemělo by smysl zvyšovat zmatek vzniklý upadnutím osoby. V takovém případě by nejlepší varianta byla odložení signalizace pádu.



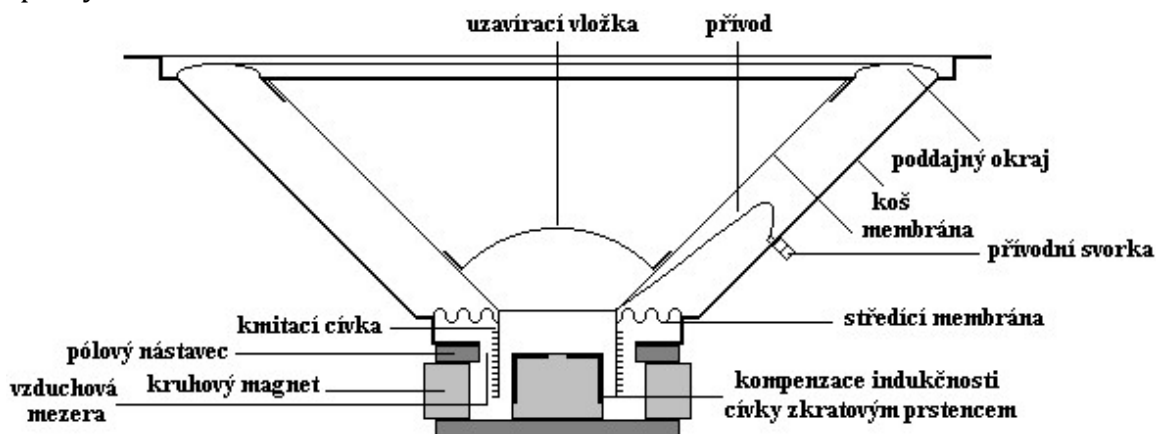
Obrázek 4.3 Schématické zobrazení konstrukce MEMS mikrofonu, upraveno podle [11]

4.2.2 Reprodukční

Nejrozšířenějším typem reproduktorů jsou elektrodynamické. V magnetickém poli je umístěn vodič, kterým protéká elektrický proud. V mezeře permanentního magnetu je umístěna kmitací cívka, která je dále spojena s kuželovitou membránou. Ta je pomocí poddajného okraje spojena s kostrou (košem) reproduktoru. Membrána se vyrábí z tuhých, ale pevných materiálů jako je plast, kov, nebo papír, aby bylo zamezeno parazitním kmitům. Z rovnovážné polohy je cívka vychylována

nízkofrekvenčním proudem a tento pohyb se přenáší na částice vzduchu. Na obrázku 4.4 je vidět schématické zobrazení konstrukce reproduktoru. [12]

Reproduktor bude používán hlavně k signalizaci detekovaného pádu, aby v případě, že dojde k falešné detekci, mohl uživatel zrušit odeslání varovné zprávy.



Obrázek 4.4 Schématické zobrazení konstrukce reproduktoru [12]

4.2.3 GPS

Geografická poloha snímače, tedy telefonu, může být určena právě díky senzoru GPS (Global Positioning System). Tento americký armádní systém je z části přístupný i pro civilní obyvatele a lze ho tedy využít pro lokalizaci zraněné osoby. Družice, které obíhají kolem země vysílají signál, přijímače tento signál zpracují a ze získaných informací vypočítají vzdálenost družice od přijímače. K určení polohy jsou nutné alespoň 4 signály ze 4 družic, nicméně nepřesnosti ve výpočtech a zpoždění signálu neumožní určit polohu přesně. Díky tomu, že v ČR je v daný okamžik k dispozici 6-7 satelitů, pohybuje se přesnost určení polohy v otevřeném prostoru mezi 5-10 m. V uzavřených prostorách, v husté zástavbě či v lese se přesnost velice snižuje. [13]

Lze samozřejmě využít i jiný systém, který určí polohu zařízení, mezi kterými je zde uveden GLONASS, tedy poziční systém vyvíjený Ruskou federativní republikou, a GALILEO, tedy systém, který je postupně uváděn do provozu pod vedením Evropské kosmické agentury. GALILEO je však poměrně nový a na trhu je zatím málo mobilů, které by pomocí něj určovaly polohu. Společnosti Apple a Samsung uvedly mobilní telefony, které určovaly polohu i pomocí GALILEO, až v roce 2017. Koncem roku 2018 bylo celkem podporováno 77 typů mobilních zařízení. [14] [15] [16]

5 SBĚR DAT

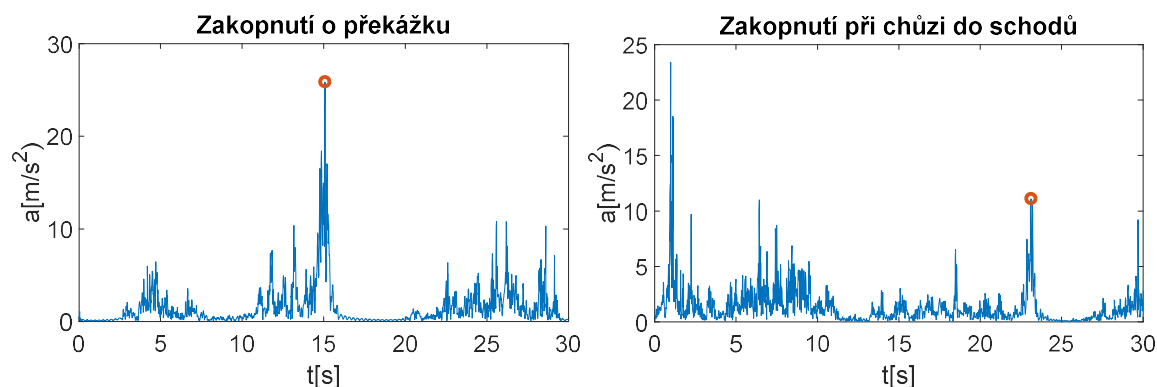
Sběr dat z pádů probíhal pomocí jejich simulací. Mobil byl přitom umístěn v kapse od kalhot, batohu, nebo byl zavěšen na krku. Sběr dat proběhl na 2 zařízeních – mobil Samsung Galaxy J5 (2016) SM-J510FN a Lenovo Vibe P1m, přičemž při každém záznamu byly mobily spojené gumičkou, aby mohly být záznamy mezi sebou porovnány. Sběr dat, na kterých se testovala falešná detekce, probíhal při různých příležitostech a byla snaha zachytit co nejvíce pohybů, které by se svou charakteristikou v datech mohly blížít pádu – běh, prudké brždění ve vozidle, upuštění mobilu na zem atd. Data byla sbírána pomocí aplikace pro Android „Sense-it(sensors)“, která poskytovala data ze senzoru K2HH ve formátu „.csv“. Simulant byl autor práce. Vzorkovací frekvence byla 100 Hz. [17]

5.1 Druhy pádů

Celkem bylo nasimulováno přes 30 pádů, některé simulace různých pádů jsou však zachyceny na jednom záznamu. Následující část kapitoly se bude věnovat rozdílům v pádech, které můžeme pozorovat na zpracovaných datech, jejichž popis je k nalezení níže. Při všech zakopnutích byl simulován pád ve směru pohybu.

5.1.1 Zakopnutí

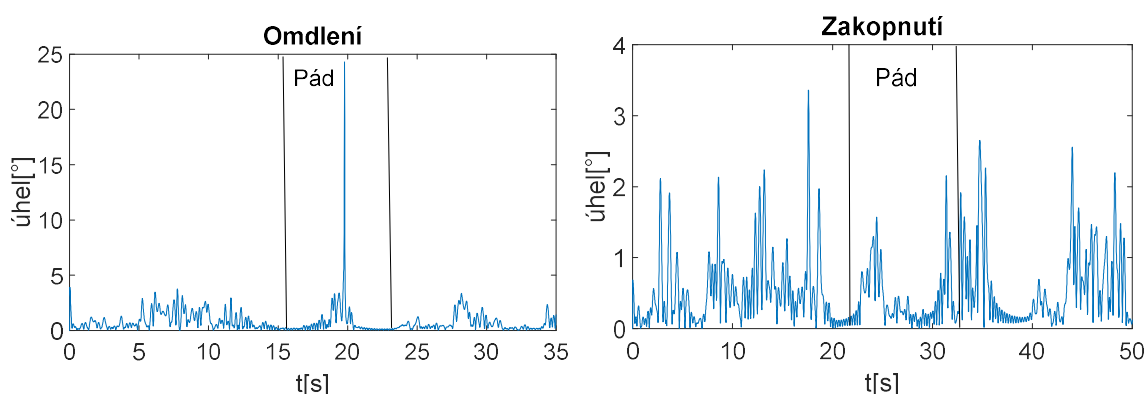
Nejčastěji simulovaným pádem bylo právě zakopnutí, a to různými způsoby – bez překážky, o překážku na rovné zemi a o schody. Zakopnutí bez překážky a o překážku jsou si podobné. Velký rozdíl je však mezi těmito zakopnutími a zakopnutím při chůzi do schodů, jak je k prohlédnutí na obrázku 5.1. Zatímco při zakopnutí o překážku je pád velmi jednoduše odhalitelný okem, při pádu do schodů tomu tak již není. Pravděpodobně je to způsobeno menším úsekem, který při pádu osoba překoná. Na obrázcích je pád označen kolečkem a je zobrazen vektor *Alim*, který bude popsán v následující kapitole.



Obrázek 5.1 Porovnání zakopnutí a zakopnutí při chůzi do schodů, vektor *Alim*

5.1.2 Omdlení

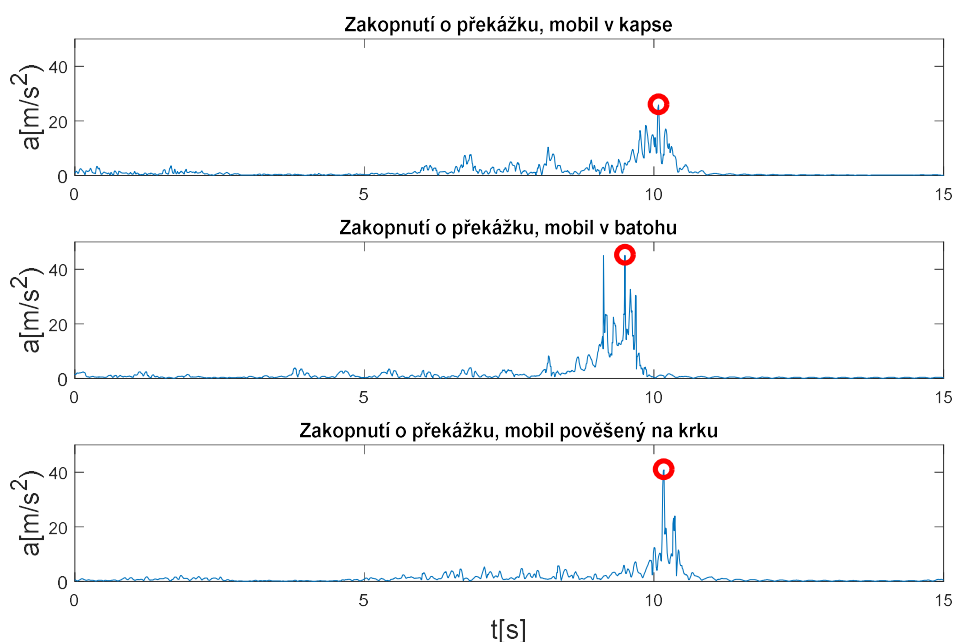
Omdlení se vyznačovalo od ostatních upadnutí velikou změnou úhlu zařízení v několika vzorcích. To nám ukazuje vektor Gca a rozdíl mezi omdlením a pádem je k prohlédnutí na obrázku 5.2. V obou případech je pád vyznačen svislými čarami, mezi kterými k pádu došlo. Je třeba upozornit, že změna úhlu u omdlení je mnohem větší než u většiny ostatních pádů.



Obrázek 5.2 Porovnání omdlení a zakopnutí, vektor Gca

5.2 Místo uložení zařízení

Jak bylo už v úvodu kapitoly zmíněno, záznamy byly snímány ve třech variantách uložení – kapse, v batohu a pověšený na krku. Na obrázku 5.3 jsou pády označeny kolečkem. Nahoře je mobil umístěný v kapse, uprostřed v batohu a dole je mobil zavěšený na krku. Záznam je vždy z jiného pádu, nicméně všechny byly způsobeny zakopnutím o překážku. Rozdíl v datech nasnímaných při různém uložení zařízení je minimální a při tvorbě algoritmu nebude třeba místo uložení zjišťovat.



Obrázek 5.3 Srovnání pádu v závislosti na umístění na vektoru $Alim$

6 PŘEDZPRACOVÁNÍ SIGNÁLU

Prvním krokem prakticky u všech publikovaných prací na téma detekce pádu, bylo vypočítání příznaků, které následně byly použity k samotné detekci pádů, popř. dále posloužily jako vstupy neuronové sítě. Nejvíce jich bylo vypočítáno v článku [18], a proto byly také převzaty právě odsud.

6.1 Výpočet vektorů, použitých k detekci pádu

Aby bylo možné získaná data zpracovat, je nutné je napřed upravit do podoby, ve které v datech budou vidět větší rozdíly. Jedná se o matematický výpočet nových matic a vektorů, jejichž popis je čerpán z [18] a [19].

Z aplikace „Sense-it (sensors)“ byla získána data o akceleraci ve 3 osách, které jsou označeny jako A_x , A_y a A_z . Z těchto dat je možné vypočítat velikost výsledného vektoru zrychlení pomocí následujícího vzorce [18] :

$$Aom(n) = \sqrt{(Ax(n))^2 + (Ay(n))^2 + (Az(n))^2}. \quad (6.1)$$

Tento výsledný vektor však nedává přesné informace o zařízení, neboť je zatížen chybou v podobě gravitačního zrychlení $g=9,81\text{m/s}^2$, které je pozorovatelné např. při položení přístroji na stole – jedna z os je vychýlena na hodnotu gravitačního zrychlení. K detekci samotného pádu se proto vektor Aom příliš nehodí, i když je možné, že při sestavování aplikace pro chytrý telefon jej nakonec bude nutné použít.

Budou proto vypočítány další matice, které budou k detekci lépe použitelné a dají více různých informací o potenciálním pádu. Matice Ali bude vypočítána pomocí nulování spektrálních čar, a to na frekvencích od 0 Hz do 1 Hz a bude tak dávat informace o jednotlivých osách bez působení gravitačního zrychlení. Gravitační matice gv dává informace o tom, jak gravitační zrychlení působilo na jednotlivé osy a vznikne odečtením matice Ali od Aom :

$$Ali(n) = [Alix(n), Aliy(n), Aliz(n)], \quad (6.2)$$

$$gv(n) = [(Alix(n) - Ax(n)), (Aliy(n) - Ay(n)), (Aliz(n) - Az(n))]. \quad (6.3)$$

Vektor $Alim$ vznikne vektorovým součinem tří složek z matice Ali a udává velikost výsledného zrychlení bez působení gravitace: [18]

$$Alim(n) = |Ali(n)|. \quad (6.4)$$

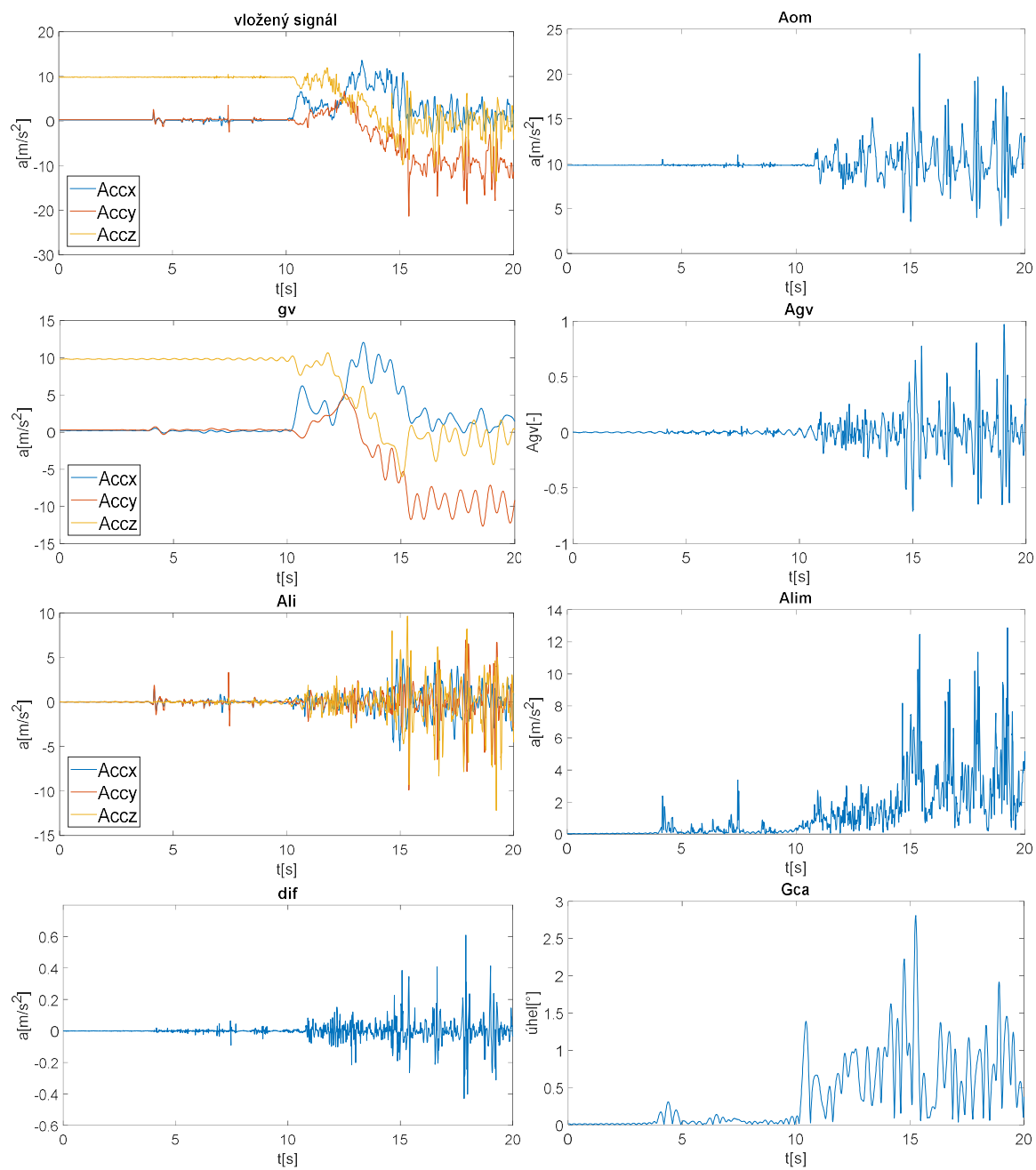
Dalšími vypočtenými vektory jsou Agv , tedy směr gravitačního vektoru oproti pohybu zařízení a je bezrozměrný, a vektor, který ukazuje změnu úhlu zařízení oproti předešlému vzorku signálu Gca [18], [19] :

$$Agv(n) = \left[\frac{Ali(n) \cdot gv(n)}{|gv(n)|^2} \right], \quad (6.5)$$

$$Gca(n) = \text{Arccos} \left[\frac{(gv(n) \cdot gv(n-1))}{|gv(n)| |gv(n-1)|} \right]. \quad (6.6)$$

V obou vzorcích se vyskytuje skalární součin vektorů v čitateli, zatímco ve jmenovateli se jedná o jednoduché násobení dvou čísel, kde absolutní hodnota značí vektorový součin, stejně jako ve vzorcích 6.1 a 6.4. Z vektoru Agv pak byla vypočítána diference a značena jako dif .

Všechny výsledné vektory jsou znázorněny na obrázku 6.1. Vše je spočítáno ze záznamu, při kterém bylo zařízení položené na stole, poté uloženo do kapsy a zaznamenávána běžná chůze. Je třeba upozornit na vektor $AccZ$ v grafu „vložený signál“, tedy originální signál, který má v první fázi vyšší hodnoty, jež jsou způsobeny gravitačním zrychlením. Na vektorech gv je vidět, jak gravitační zrychlení působilo na jednotlivé složky. Vektory Ali jsou zbavené gravitačního zrychlení a $Alim$ je jejich celková velikost. Je třeba upozornit na podobnosti s vektorem Aom , který je skalárním součinem dat a začíná opět na hodnotách gravitačního zrychlení. Na vektoru Agv je vidět, kdy se zařízení pohybovalo se směrem gravitačního zrychlení, tedy směrem k zemi (záporné hodnoty) a kdy se pohybovalo zařízením opačným směrem (kladné hodnoty). Z vektoru Aom lze vyčíst změnu úhlu zařízení oproti předchozímu vzorku. [18]



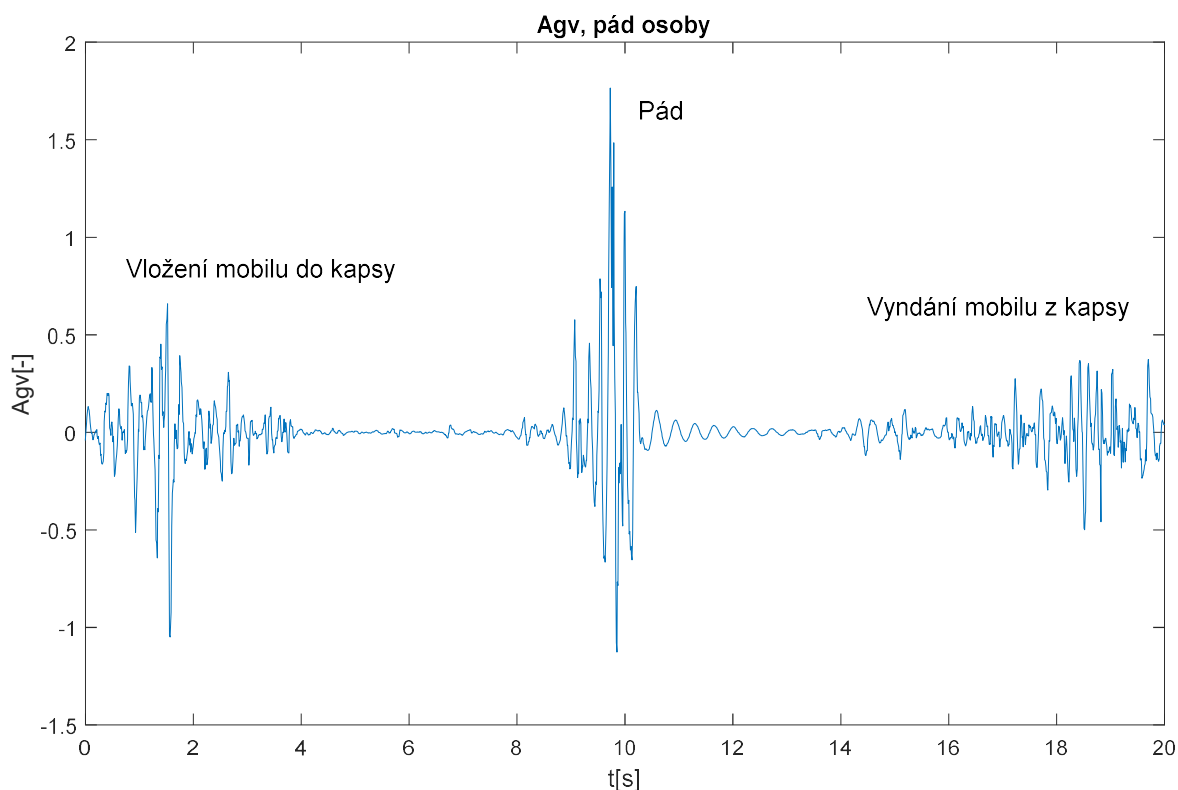
Obrázek 6.1 Demonstrace všech vypočtených signálů

7 DETEKCE PÁDU

Možností, jak detekovat pád, je více a je možné využít řadu realizací hardwarů i softwaru. Jsou zde shrnuty poznatky především dvou článků, které posloužily jako vzor a bylo z nich čerpáno nejvíce informací. Prvním článkem je [18], ze kterého byly převzaty prakticky všechny výpočty vektorů a druhým článkem je [20], který posloužil jako zdroj informací o prahování signálu.

7.1 Detekce z vektoru Agv

Detekce přímo z daných vektorů je velmi obtížná a ve většině prací a článků na detektor pádu bylo použito prahování signálu. V článku [18] však autoři zjistili, že ve vektoru Agv se při pádu vyskytuje ihned za největším peakem další, negativní, peak. Při vložení mobilu do kapsy se tento peak nevyskytuje, nebo se naopak nevyskytuje kladný peak. Pokud bude tedy porovnán největší pozitivní peak s největším negativním peakem během pádu, může tato informace sloužit jako rozhodnutí, zda k pádu došlo či nikoliv. K detekci pádu byl tedy použit hlavně tento vektor. Na obrázku 7.1 je vidět rozdíl mezi ukládáním mobilu do kapsy, pádem a vyndáním mobilu z kapsy. [18]

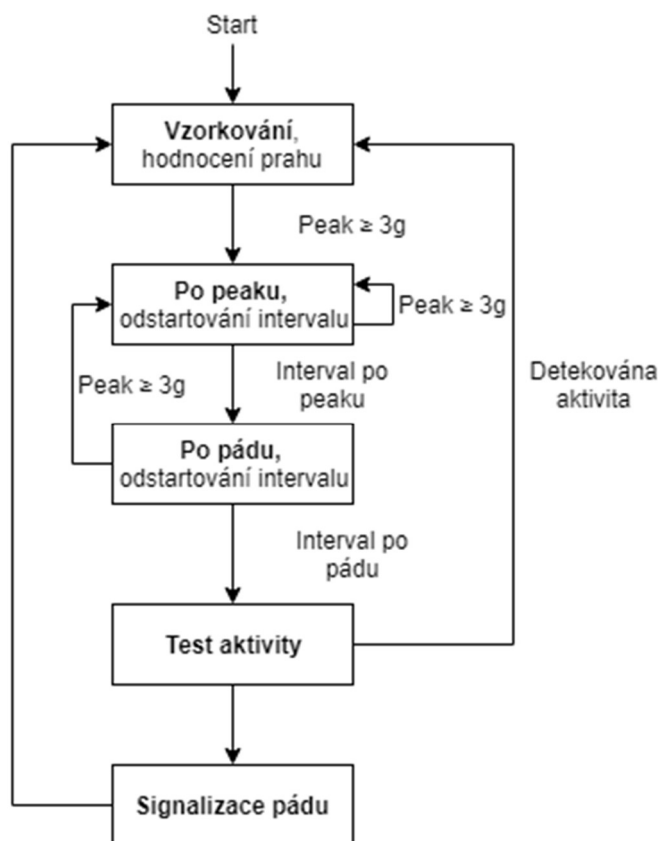


Obrázek 7.1 Porovnání pádu a manipulace s mobilem na vektoru Agv .

7.2 Detekce pomocí prahování signálu a pravidel

V článku [20] byly všechny prahy určovány pouze na jednom vektoru, který odpovídal vektoru *Aom*. Tento vektor zahrnuje i gravitační zrychlení, a proto bude nutné práh upravit. Nutno podotknout, že autoři článku pracovali se vzorkovací frekvencí 50 Hz a jejich zařízení bylo umístěno na pásku od kalhot, takže nebylo nutné řešit a počítat tolik vektorů, jako pro zařízení, které může mít jakoukoli polohu. [20]

Prvním krokem bylo načtení signálu z akcelerometru, aby mohl být signál hodnocen. Prahová hodnota, která měla znamenat pád, byla určena na 3 g, tedy asi o 20 m/s² více, než bylo v normálu. Po překročení této hodnoty byl spuštěn odpočet 1 s („po peaku“), během kterého nebylo potřeba žádné aktivity. Během této doby byl předpokládán probíhající pád. Sekundu po detekovaném překročení prahu byl spuštěn odpočet („po pádu“), který trval 1,5s („interval skoku“). Pokud došlo v tomto intervalu k dalšímu překročení prahové hodnoty, byl algoritmus vrácen do fáze „po peaku“, neboť byl tento peak vyhodnocen jako skok, nikoli pád. V případě, že došlo k signalizaci pádu, nebyl algoritmus zastaven, ale stále pokračoval ve vyhledávání nadprahové hodnoty v načítaném signálu. Přehledněji jsou fáze zobrazeny na blokovém schématu na obrázku 7.2. [20]



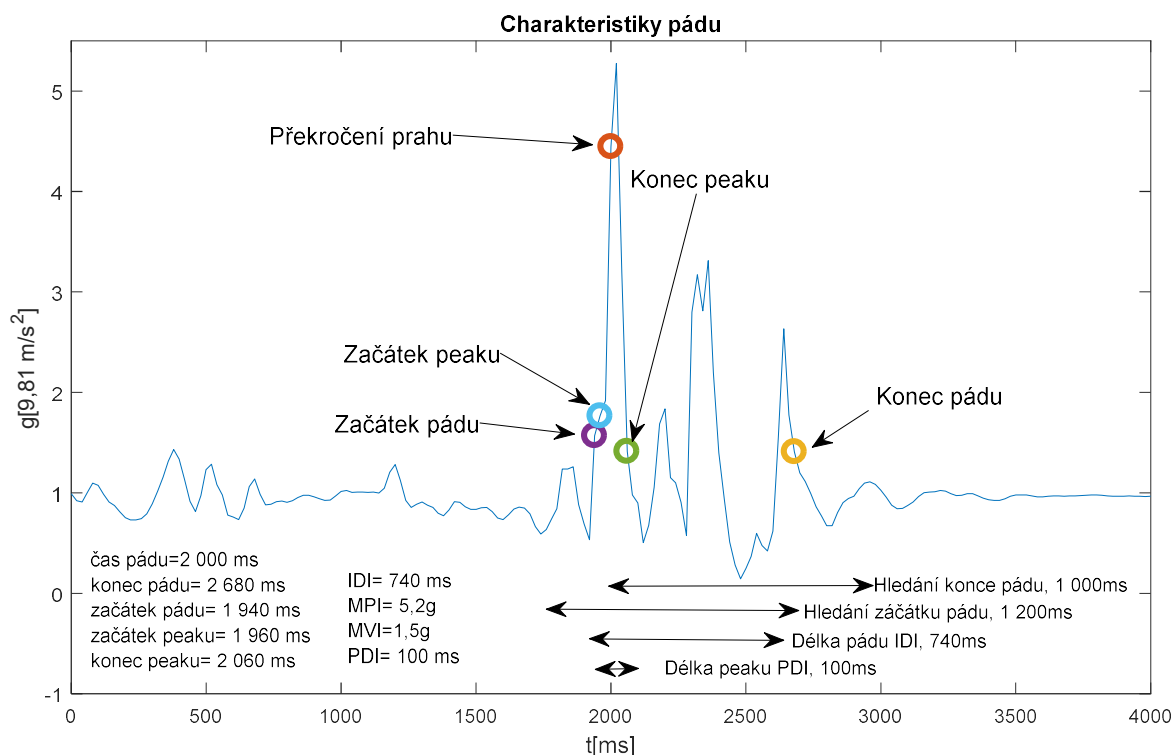
Obrázek 7.2 Schéma základního algoritmu pro detekci pádu, převzato a přeloženo z [20].

V rámci snahy odlišit pád člověka od sezení, ležení nebo úderů do senzoru byly vypočítány začátky a konce jednotlivých pádů a k nim příslušným peakům, ve kterých se dále určovaly některé prahy a počítaly indexy, které měly za úkol zpřesnit detekci pádu. Výpočty byly zahrnuty do detekce pádu v předešlém odstavci a v blokovém schématu by byly zařazeny za test aktivity. [20]

Nejdříve byl určen konec pádu, který představoval poslední vzorek, který byl větší než 1,5 g a následoval maximálně 1 000 ms po překročení prahové hodnoty 3 g pro spuštění detekce. Od konce pádu byl vypočítán začátek pádu, který závisel především na dvou vedlejších vzorcích v intervalu 1 200 ms před koncem pádu až po překročení prahu. První hodnota musela být menší než 0,85 g a následující vzorek musel překročit 1,5 g. V tomto intervalu se určily hodnoty: [20]

- Index minimální délky trvání pádu IDI (Impact Duration Index), která byla stanovena na 320 ms a průměrná délka pádu na 780 ms
- maximální velikost zrychlení během pádu MPI (Maximum Peak Index) na 5,8 g, 3,9 g při sednutí, či lehnutí a 4,2 g při běhání nebo skákání. [20]
- minimální velikost zrychlení MVI (Minimum Valley Index) 500 ms před a během pádu byla určena na 0,24 g [20]

Dále byl vypočítán začátek a konec peaku obdobně jako pro začátek a konec pádu, ale hranice byla stanovena na 1,8 g pro začátek i konec peaku. Z délky tohoto intervalu se určil index trvání pádu PDI (Peak Duration Index) a měl by se u pádu pohybovat kolem 80 ms. Pro přehlednost jednotlivé prahy a jejich intervaly shrnuje tabulka 7.1 a obrázek 7.3, kde jsou také uvedeny konkrétní hodnoty pro daný pád. Autoři článku dále počítali ještě další hodnoty, kterým zde již nebude věnován prostor. [20]



Obrázek 7.3 Začátek a konec pádu/peaku, intervaly a jejich hodnoty ve vektoru Aom
Tabulka 7.1 Jednotlivé intervaly, hodnoty a jejich prahy, příp. výpočty [20]

Název charakteristiky	Interval, příp. výpočet	práh pro pád
čas pádu	-	>3 g
konec pádu	(čas pádu, čas pádu+1 000 ms)	Poslední vzorek > 1,5 g
začátek pádu	(konec pádu – 1 200 ms, čas pádu)	poslední vzorek pod 0,8 g ihned následovaný nad 1,5 g
IDI – index minimální délky trvání pádu	(konec pádu – začátek pádu)	320 ms
MPI – maximální velikost zrychlení během pádu	(začátek pádu, konec pádu)	5,8 g
MVI – minimální velikost zrychlení během pádu	(začátek pádu-500ms, konec pádu)	0,24 g
Začátek peaku	(začátek pádu, čas pádu)	poslední vzorek <1,8 g
Konec peaku	(čas pádu, konec pádu)	první vzorek <1,8 g
PDI – index trvání peaku	(konec peaku-začátek peaku)	kolem 80 ms

8 NÁVRH A REALIZACE V MATLABU

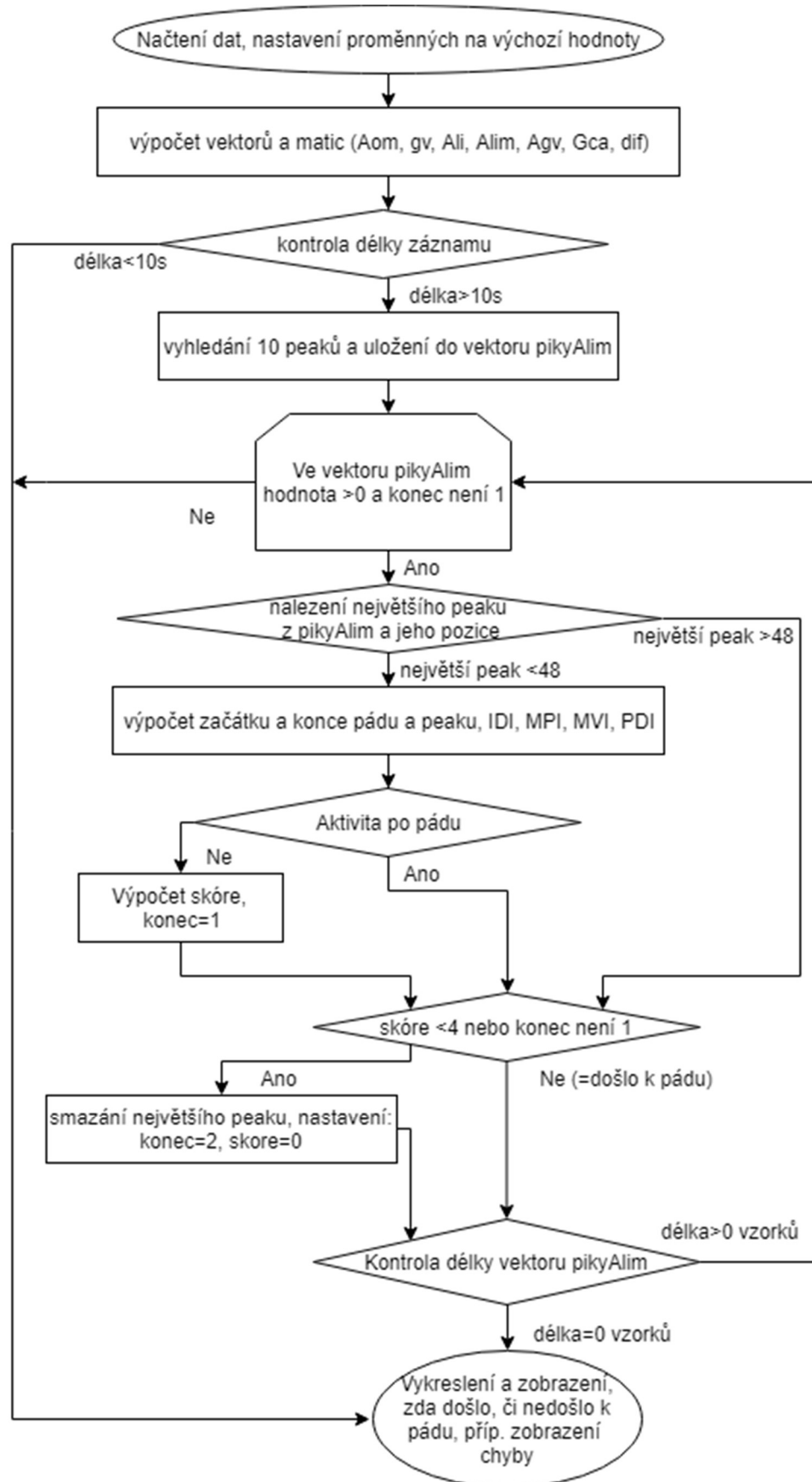
Na základě vektorů a dalších výpočtů zmíněných v předešlých kapitolách, byl vytvořen algoritmus na detekci pádu osoby. V následujících podkapitolách budou podrobněji popsány některé dříve vypočtené vektory a matice a to, jak byly použity v základním algoritmu detekce pádu. Budou zde také popsány změny ve výpočtu charakteristik pádu z článků [18] a [20]. Byl vytvořen skórovací mechanismus pro odlišení pádu člověka od pádu mobilu, který bude také popsán v následujících podkapitolách.

8.1 Algoritmus detekce

Algoritmus byl vytvářen před vývojem samotné aplikace pro mobilní telefon, aby posloužil jako vzor, kterému se aplikace bude snažit přiblížit. Byl vytvářen pro záznamy nasnímané se vzorkovací frekvencí 100 Hz.

Obrázek 8.1 shrnuje programový kód. Po načtení dat se vypočítají vektory a matice, které byly uvedené v předchozí kapitole 6.1. Kvůli odlišení pádu mobilu a pádu člověka je nutné mít záznam o minimální délce 10 s. Poté je vyhledáno 10 největších peaků, které by mohly znamenat pád. Vyhledání zrovna 10 peaků je dáno hlavně vývojem algoritmu, během kterého byly vkládány především krátké úseky chůze, případně pádů a nebylo zapotřebí jich testovat více.

Následuje cyklus, ve kterém se z vyhledaných peaků počítají další hodnoty, které jsou uvedeny v předešlé kapitole s drobnými obměnami, které byly přizpůsobeny podmínkám této práce a budou popsány dále. V rámci cyklu se po vypočtení charakteristiky pádu kontroluje aktivita po konci pádu (resp. po vypočtené hodnotě „konec pádu“). Pokud je detekována aktivita po pádu, z vektoru s peaky se aktuální peak smaže a pokud nedošlo ke smazání posledního peaku, cyklus se opakuje s dalším největším peakem ve vektoru. V případě, že aktivita po pádu nebyla detekována, došlo k pádu osoby, nebo mobilu a algoritmus postupuje do fáze skórování, která bude také popsána dále. Po výpočtu skóre se hodnotí dvě proměnné – samotné skóre a proměnná „konec“. Pokud je skóre menší než 4 nebo „konec“ není 1, nebyl vyhodnocen pád a algoritmus opět největší peak smaže a pokračuje v hodnocení dalšího peaku. Pokud skóre přesáhlo tuto hodnotu nebo byl „konec“ nastaven na 1, byl detekován pád. Signál, který byl hodnocen se vykreslí vždy, ale pokud došlo k detekci pádu osoby, je vyznačen největší peak kolečkem a v příkazovém řádku se vypíše čas pádu, pokud k pádu osoby nedošlo, nebo byl zadán příliš krátký vstup, opět dojde k vykreslení signálu, ale v příkazovém řádku se zobrazí hlášení, že pád nebyl detekován, nebo, že byl zadán příliš krátký vstup.



Obrázek 8.1 Blokové schéma algoritmu pro detekci pádu

8.2 Změny v charakteristikách pádu

Vzhledem k rozdílné vzorkovací frekvenci a k výpočtu na vektoru *Alim*, místo na *Aom*, jak tomu bylo v předešlé kapitole, se změnil výpočet některých hodnot intervalů a prahů. Změny jsou uvedeny v následující tabulce. Došlo ke změnám prahových hodnot i pro indexy pádu, ty ale budou uvedeny ve skórovacím mechanismu.

Tabulka 8.1 změny ve výpočtu začátku konci pádu/peaku

Název charakteristiky	interval	práh pro pád
čas pádu	-	Maximum <4,8 g
konec pádu	(čas pádu, čas pádu+1000 ms)	Poslední vzorek > 0,5 g
začátek pádu	(konec pádu - 1200 ms, čas pádu)	První vzorek > 0,3 g
Začátek peaku	(začátek pádu, čas pádu)	První vzorek > 0,7 g
Konec peaku	(čas pádu, konec pádu)	Poslední vzorek > 0,7 g

8.3 Skórovací mechanismus

Skóre na počátku začínalo na 0. Proměnná „konec“, která byla využita k ukončení cyklu, popř. smazání nežádoucího peaku, začínala na 2. Zásadní hodnoty pro detekci pádu osoby byly IDI, MPI, MVI a PDI, které sloužily jako hlavní ukazatel pádu osoby.

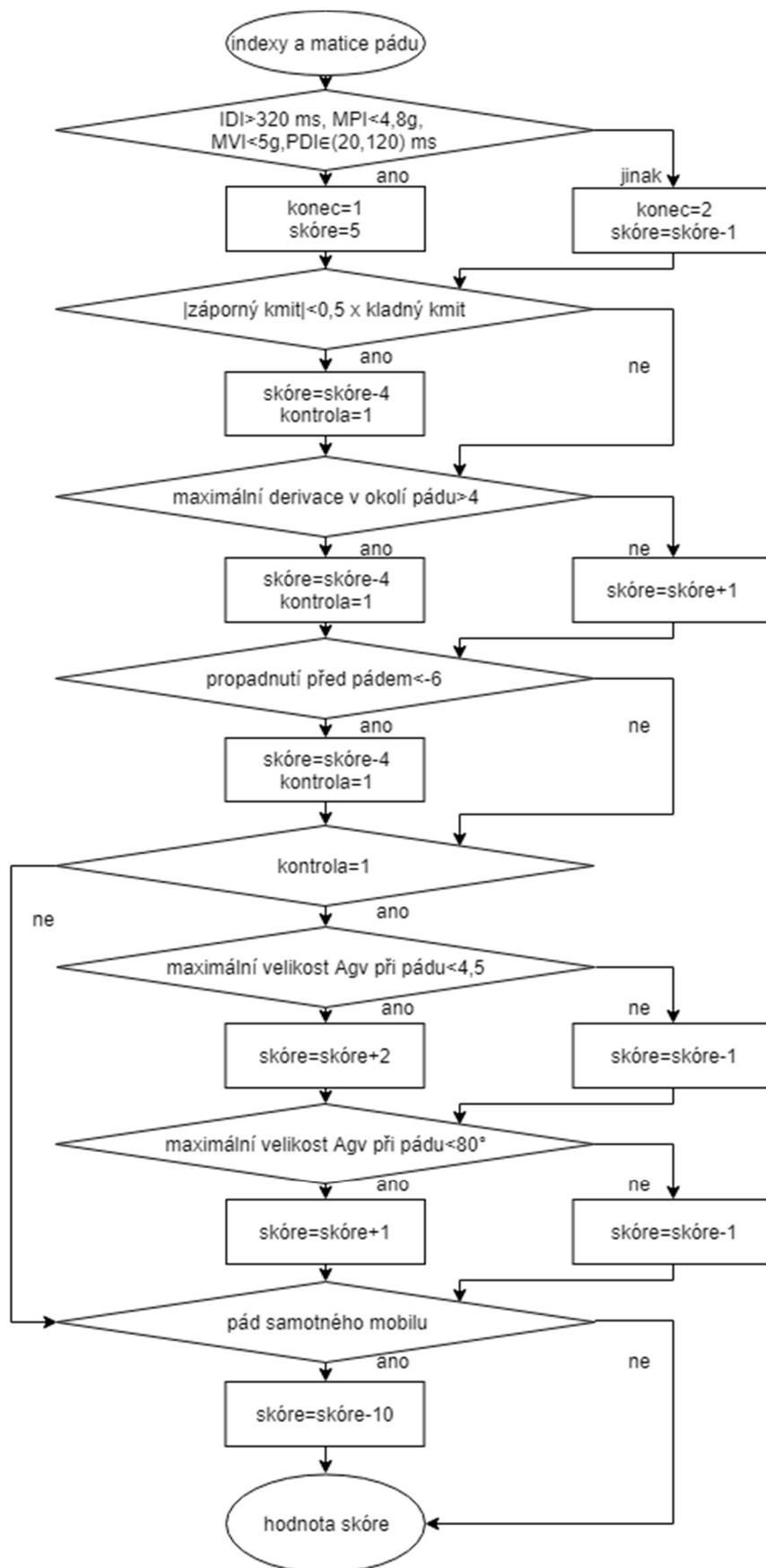
Výpočet hodnot IDI, MPI, MVI a PDI nebyl změněn, ale došlo ke změně prahových hodnot. U některých hodnot stačilo hranici posunout o gravitační zrychlení, např. MPI, jiné musely být experimentálně zjištěny. Nové a staré hodnoty porovnává následující tabulka 8.2. Pokud byly splněny všechny podmínky, bylo ke skóre připočítáno 5 a do proměnné „konec“, byla uložena 1. V jiných případech bylo ze skóre odečtena 1 a konec byl nastaven na 2.

Tabulka 8.2 Změny v hranicích charakteristiky pádu

Název charakteristiky	Práh pro pád z [20]	Upravený práh pro pád
IDI – index minimální délky trvání pádu	320 ms	320 ms
MPI – maximální velikost zrychlení během pádu	5,8 g	4,8 g
MVI – minimální velikost zrychlení během pádu	0,24 g	0,5 g
PDI – index trvání peaku	kolem 80 ms	Interval (20–120 ms)

Dalším krokem bylo detekování velkého záporného kmitu během pádu podle kap. 7.1. V případě, že byl nalezen příliš velký záporný kmit, bylo ze skóre odečteno 4 a zaznamenáno, že bude záznam ještě překontrolován. Následovala detekce maximální difference, která u pádu člověka neměla být menší, než 0,4 g. Pokud hodnotu překročila, opět bylo ze skóre odečteno 4 a zaznamenána nutná kontrola. V opačném případě se ke skóre přičetla 1. Nakonec byla ještě porovnávána fáze „propadnutí“ před pádem, která je podrobněji popsána v podkapitole 8.3.3. Pokud byla příliš malá, opět se od skóre odečetla 4 a zaznamenala kontrola. Kontrola pádu zjišťovala, zda byl pád pomalý, či nikoliv pomocí vektorů Gca a Agv . Jako poslední se kontroluje poloha mobilu po konci pádu, a to na vektorech z matice nasnímaného signálu. Pády samotného mobilu na rovnou zem jsou takto vyřazeny.

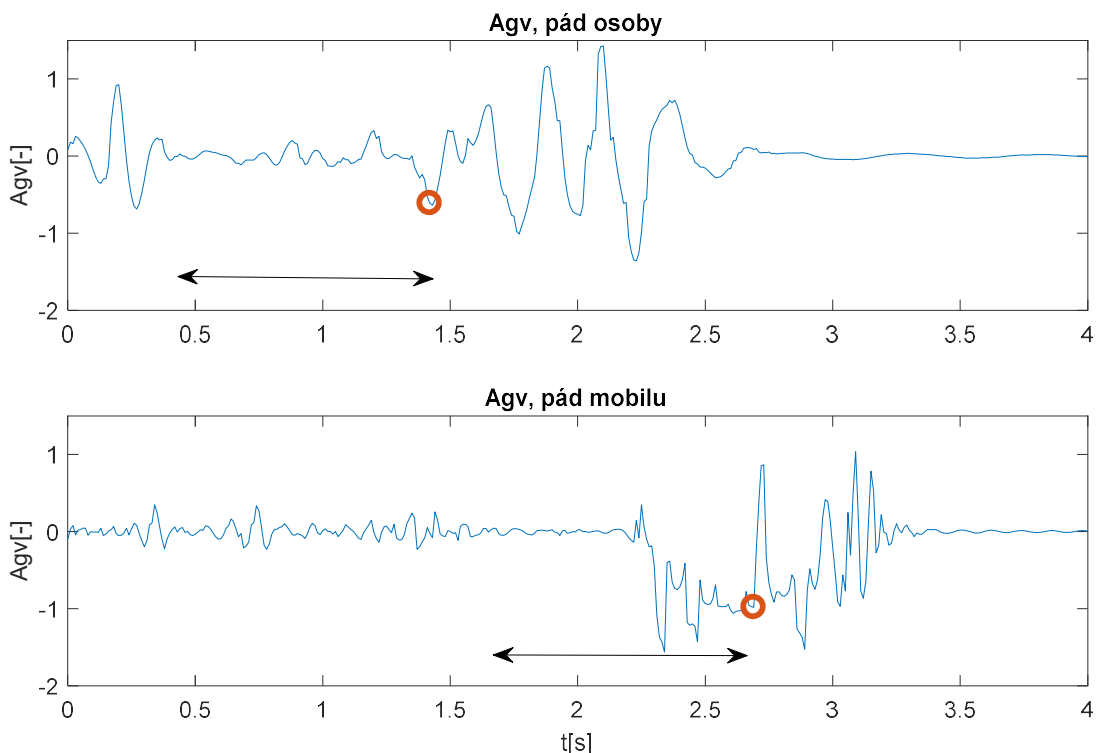
Na obrázku 8.5 je k prohlédnutí vývojový diagram samotného skórovacího mechanismu. Nejde o funkci, která by byla volána, ale je součástí algoritmu. Pro přehlednost je však uveden až zde. Do této části algoritmu tedy vstupují všechny hodnoty, které jsou do té doby vypočítány, jako např. indexy, či vektory a matice. Podrobněji bude obrázek popsán v následující podkapitole.



Obrázek 8.2 Skórovací mechanismus algoritmu pro detekci pádu v Matlabu

8.3.1 Detekce záporného kmitu

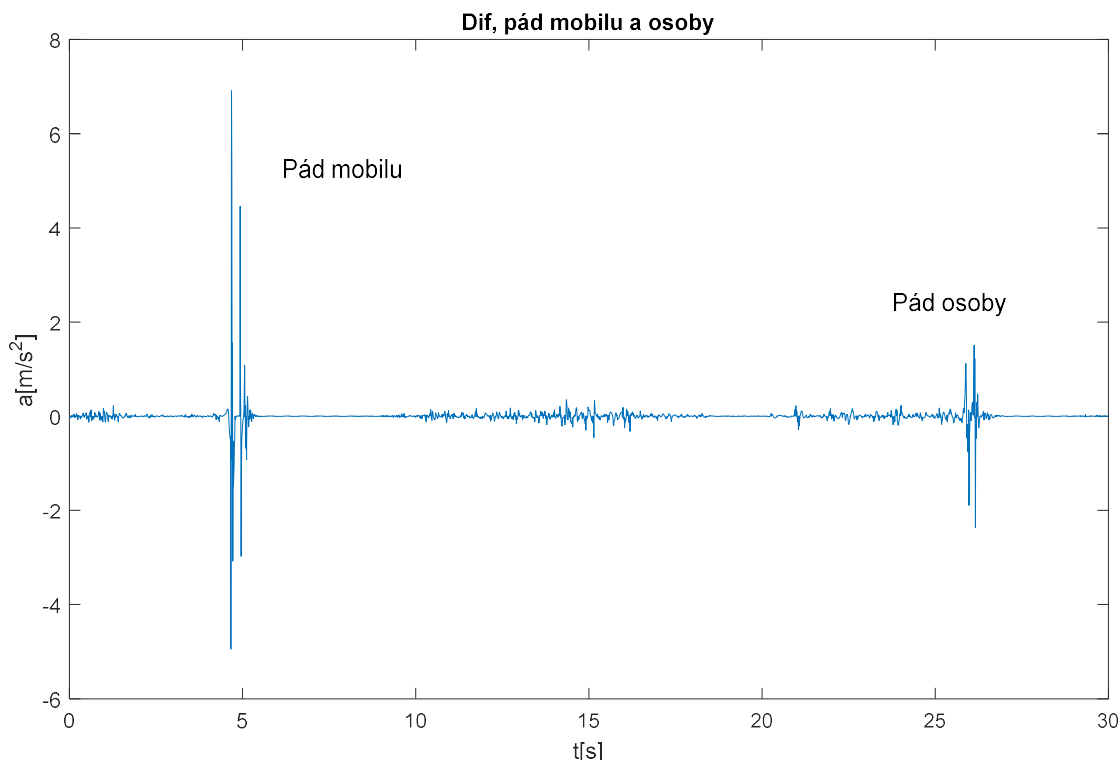
Detekce vychází z postupu, který je uvedený v kap. 7.1 který byl dle článku [18]. Jde o hodnocení, o kolik je absolutní hodnota největšího záporného kmitu menší, než největší kladný kmit. Bylo zjištěno, že pády osob mají velikosti těchto kmitů zhruba stejné, ale u některých pádů mobilů docházelo k velikému rozdílu. K odečtení 4 ze skóre došlo, pokud byl kladný kmit více jak dvakrát větší, než absolutní hodnota záporného kmitu. V takovém případě byla také zaznamenána kontrola. Na obrázku 8.3 je k prohlédnutí pád mobilu a osoby z pohledu vektoru Agv . Ani v jednom případě nebyly body odečteny kvůli příliš velkému rozdílu kmitů. Další informace k obrázku budou doplněny v podkapitole 8.3.3.



Obrázek 8.3 Porovnání vektorů Agv při pádu osoby a samotného mobilu

8.3.2 Difference

Na obrázku 8.4 je k prohlédnutí vektor dif , na kterém je záznam pádu mobilu i osoby. Pád osoby se ve vektoru dif vyznačoval mnohem menším peakem. Jako hranice pro odečtení bodů ze skóre byla určena hodnota 0,4 g. V případě, že tato hranice byla překročena, byly ze skóre odečteny 4 body a zaznamenána kontrola. Pokud hodnota difference v okolí pádu tuto hranici nepřesáhla, byl přičten ke skóre 1 bod. Největší difference zaznamenala největší změnu zrychlení, což ještě neznamená, že v bodě s největší hodnotou ve vektoru dif bylo také největší zrychlení. Proto se hledala největší hodnota ve vektoru dif v okolí 50 ms před detekovaným pádem ve vektoru $Alim$ a 50 ms po něm.



Obrázek 8.4 Srovnání pádu mobilu a pádu osoby na vektoru *dif*

8.3.3 Propadnutí před pádem

Na obrázku 8.3 je vidět rozdíl mezi pádem samotného zařízení a pádem osoby z pohledu vektoru Agv . Největší rozdíl je ve velikosti peaku pádu a ve fázi před pádem. V případě, že dojde k pádu osoby, velikost peaku se většinou pohybuje v nižších hodnotách, než je $4,5 \text{ m/s}^2$. U pádu samotného mobilu se peaky Agv mohou pohybovat také pod touto hranicí. Fáze před pádem v případě pádu samotného mobilu je charakteristická dlouhým poklesem hodnot. To je dáno stejným směrem pádu, jako je gravitační zrychlení. Algoritmus je nastaven tak, aby sledoval součet hodnot 1 sekundu před detekovaným začátkem pádu. Pokud je menší než -6, odečte ze skóre 4. Na obrázku 8.3 je také vyznačen začátek pádu kolečkem a interval ve kterém se sčítají hodnoty je vyznačen černými kótami.

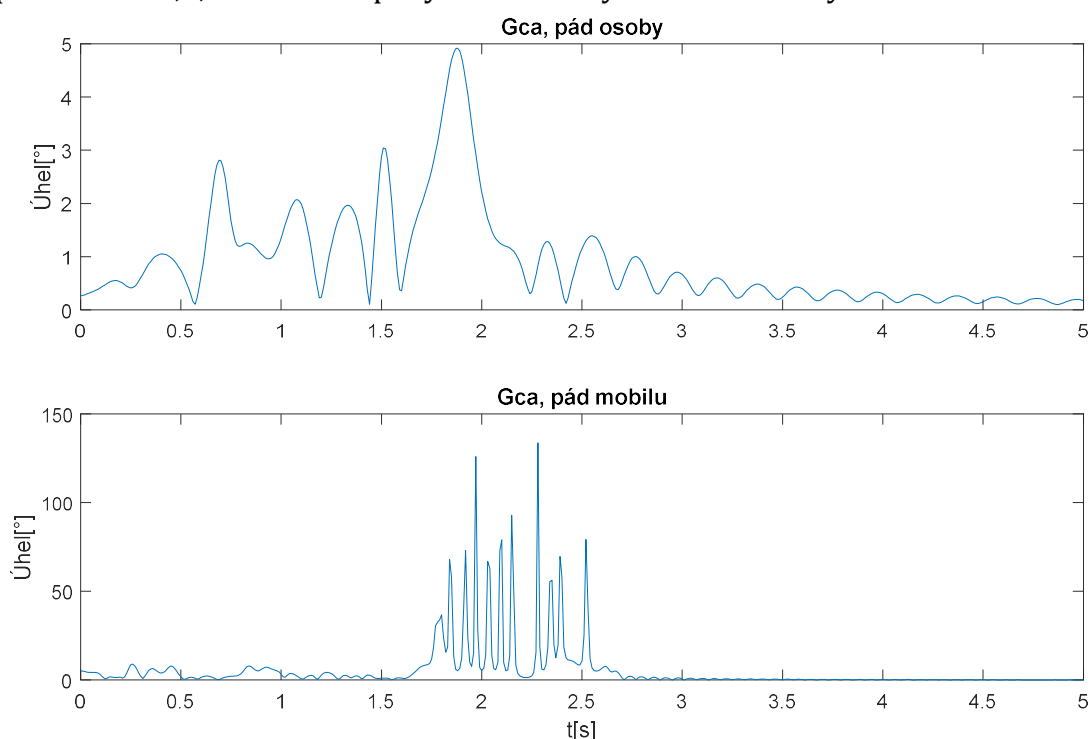
8.3.4 Kontrola pádu

Kontrola pádu byla zařazena proto, že většina pádů člověka a pádů mobilů se odlišit dala, ale pak tu byly komplikované pády osob, které byly vyřazeny třeba jen o jeden bod. Pády osob, kterým byly odečteny body ve výše uvedených krocích se lišily svou rychlostí, a to i od běžných zakopnutí. Kontroluje se tedy, že došlo k pomalému pádu, což určuje velikost Gca . V některých případech pádů mobilů dosahovala hodnota Agv příliš velkých hodnot, a tak byla tato hodnota také zahrnuta

do kontroly. Běžným pádům by se ve fázi kontroly mohly body odečíst, protože jsou často velmi rychlé, resp. dosahují velkých zrychlení a velké změny úhlu natočení.

Vektor Gca měří změnu úhlu oproti předešlému vzorku. V případě, že dojde k pádu samotného mobilu, dochází k velkým změnám úhlu natočení, neboť často dochází k odražení mobilu od země a jeho rotaci před konečným dopadem. Hodnoty tak v některých záznamech dosahují i 120° , zatímco většina pádů osoby nedosahuje ani 20° . Hranice byla stanovena na 80° , neboť u některých záznamů pádu osoby se velikost úhlu pohybuje okolo 70° . Při těchto pádech byl vždy mobil umístěn v kapse a je možné, že došlo k chybnému záznamu, nebo ke špatné simulaci pádu. Příklad je k prohlédnutí na obrázku 8.5.

Velikost peaku ve vektoru Agv se prakticky u všech pádů osob pohybovala pod hranicí 4,5, ale některé pády mobilu měly tuto hodnotu vyšší.



Obrázek 8.5 Porovnání pádu osoby a mobilu na vektoru Gca

8.3.5 Pád samotného mobilu

Pokud mobilní telefon vypadne uživateli z ruky a nebude ihned zvednut, přičemž by došlo k detekci aktivity po pádu, mohl by být signalizován pád osoby. Polohu mobilu na konci pádu, přesněji v 50 ms intervalu 50 ms po konci pádu, lze snadno rozeznat, a to na původních datech z akcelerometru, tedy na vektorech $Accx$, $Accy$ a $Accz$.

Pokud se vektor $Accz$ nachází v blízkosti 1 g a $Accx$ a $Accy$ jsou blízké 0 g, znamená to, že mobil je ve stejné poloze, jako by byl položený na zemi/stole, a tudíž došlo k pádu mobilu a ne k pádu osoby. Ze skóre se odečte 10. Je zde riziko upadnutí

osoby, při kterém dojde k vypadnutí mobilu na zem. V takovémto případě k detekci pádu osoby nedojde.

8.4 Zhodnocení algoritmu

Ke zhodnocení úspěšnosti detekce pádu osoby pomocí algoritmu vytvořeného v Matlabu použijeme senzitivitu (Se), specificitu (Sp), a přesnost (Ac, Accuracy), které vypočítáme [20]:

$$Se = \frac{TP}{TP+FN}. \quad (8.1)$$

$$Sp = \frac{TN}{TN+FP}. \quad (8.2)$$

$$Ac = \frac{TP+T}{TP+FP+FN+TN}. \quad (8.3)$$

kde TP jsou správně detekované pády, FN jsou nedetekované pády, TN jsou správně nedetekované pády, např. nedetekovaný pád mobilu, a FP jsou falešně detekované pády. V některých záznamech se vyskytuje více pádů osob či mobilů, algoritmus je ale navržen tak, aby detekoval vždy pouze jeden pád. Pokud tedy v záznamu byl např. jeden pád mobilu a dva pády osoby, byl nedetekovaný pád mobilu započítán jako TN a pád osoby jako TP. Na zbývajícím pádu osoby nebyl nijak brán ohled. Hodnoceno bylo 58 záznamů. Jednotlivé hodnoty byly ručně spočítány a výsledky byly: TP=33, TN=26, FP=0, FN=1. Výsledná senzitivita tedy je Se=97 %, specificita Sp=100 % a přesnost také Ac=98 %.

9 VYTVOŘENÍ APLIKACE PRO ANDROID

Jedním z hlavních cílů práce bylo vytvoření aplikace na detekci pádu pro chytré telefony, která by dokázala pád odhalit a signalizovat v co nejkratším čase a byla i uživatelsky přívětivá. Aplikace byla vytvořena ve webové aplikaci MIT App Inventor. Během vytváření aplikace došlo k řadě problémů, některé nebyly řešitelné, jiné se podařilo vyřešit jednoduchou úpravou, nebo přepracováním kódu.

9.1 MIT App Inventor

Jde o vizuální programovací prostředí, ve kterém lze vytvářet aplikace pro mobilní telefony se systémem Android a iOS. Prostedí bylo vytvořeno týmem studentů a pracovníků z pobočky Masechutského institutu technologií (MIT) CSAIL, pod vedením profesora Hal Abensona. Programovací prostředí je založené na spojování jednotlivých bloků dohromady a designování GUI.

9.2 Algoritmus detekce

Původně byl algoritmus v Matlabu vytvářen proto, aby na něm mohly být odzkoušeny postupy, které budou poté zapracovány do aplikace pro mobilní telefony. Ukázalo se ale, že pro filtraci signálu v MIT App Inventoru by musel být vytvořen nový blok v jazyce JAVA, což by nebylo tak těžké, ale následné přetvoření do bloku v MIT App Inventoru by bylo příliš náročné a přesahující možnosti této práce. Algoritmus byl tedy tvořen hlavně podle článku [20], resp. kap. 7.2, ale bylo do něj zapracováno mnoho úprav, jelikož některé výpočty se ukázaly jako nepoužitelné. Vzorkovací frekvence byla zvolena na 50 Hz.

Pokud uživatel zapnul detekci tlačítkem „Zapnout“, bylo zahájeno načítání dat a vzorkování. Po získání dat ze všech tří os akcelerometru byla vypočtena hodnota do vektoru Aom . Po načtení 10 s záznamu se vždy první hodnota ve vektoru smazala a na konec vektoru byla přidána další hodnota aktuálního zrychlení. Bylo tak vytvořeno plovoucí okno, ve kterém probíhala detekce. Jakmile byl načten 10s záznam, byl vektor uložen do nové proměnné. Dále bylo rozhodováno, zda došlo, či nedošlo k překročení prahu a v případě, že došlo k jeho překročení, byl algoritmus posunut do fáze kontroly aktivity po pádu. Vzhledem k náročnosti prohledávání vektorů v MIT App Inventoru byl kontrolován pouze prvek na pozici 200 a od něj se dále počítaly charakteristiky a indexy pádu. Aktivita po pádu byla měřena v intervalu 2-3 s po detekovaném překročení prahu a hledala se maximální a minimální hodnota zrychlení. Pokud se nenacházely kolem hodnoty 1 g byla aktivita po pádu detekována a algoritmus byl vrácen na hledání překročení prahu. Dalším parametrem aktivity po pádu bylo nové překročení prahu

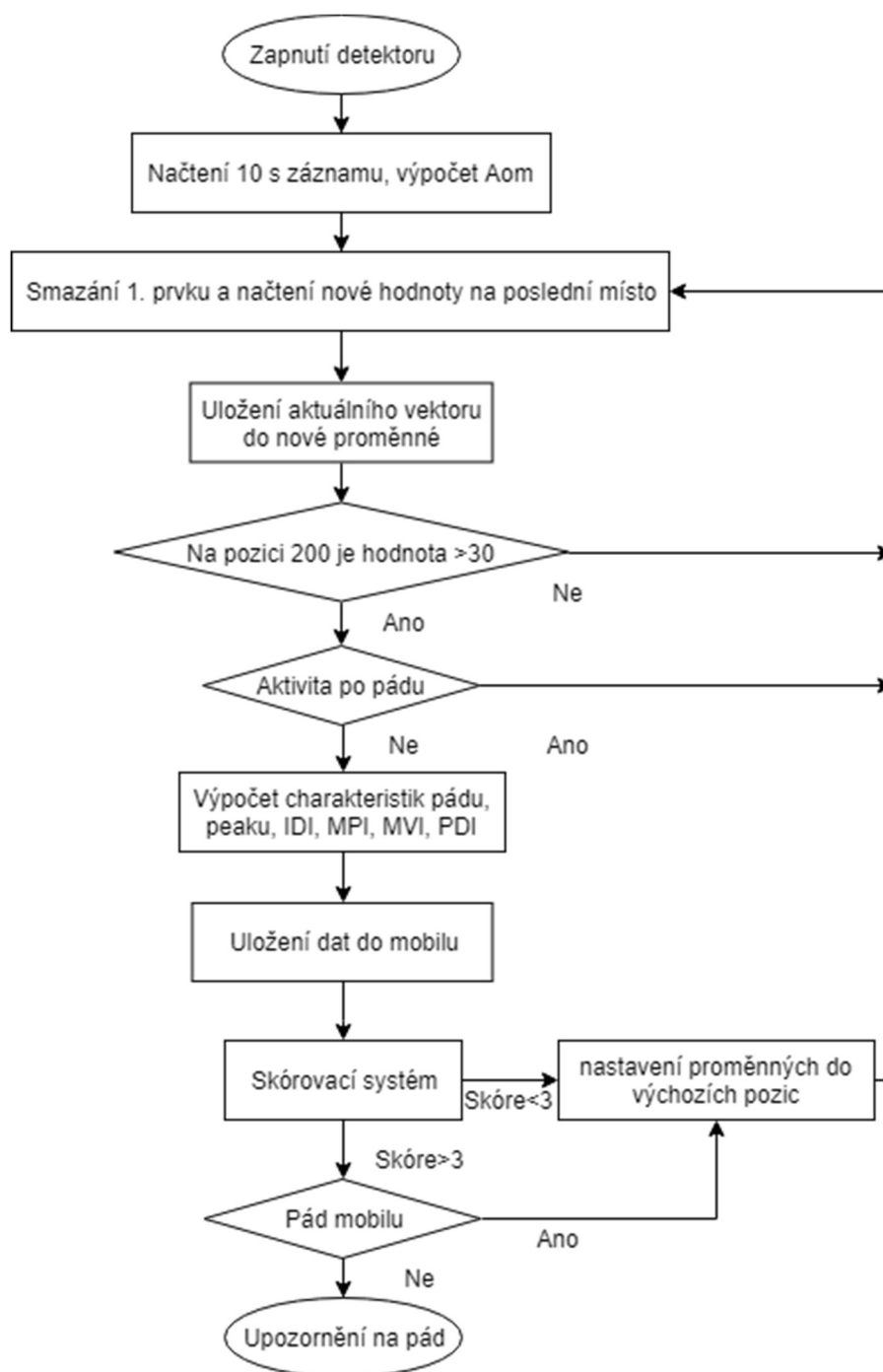
3 g v intervalu 1-2 s po pádu. Pokud tedy došlo v tomto intervalu k překročení prahu, byl algoritmus vrácen na začátek, do hledání dalšího překročení prahu. Aby tedy algoritmus mohl postoupit dál, nesmělo být detekováno překročení prahu v intervalu 1-2 s po překročení prahu a nesměla být detekována aktivita v intervalu 2-3 s po překročení prahu.

Další fází detekce pádu je výpočet charakteristik pádu dle tabulky 7.1. Ukázalo se však, že výpočet začátku pádu dle článku [20] je téměř nereálný, protože ze 30 měřených signálů takové vzorky, tedy z nichž první byl pod hranicí 0,8 g a druhý byl větší než 1,5 g, obsahovaly pouze 4 signály, z toho pouze dva signály byly záznamy pádu osoby. Proto byl tento výpočet začátku pádu změněn na hledání první hodnoty, která přesáhla 1,5 g. Poté byla uložena do mobilu data s některými charakteristikami pádu a vektorem pádu, aby mohla být případně analyzována. Celé blokové schéma znázorňuje obrázek 9.1.

Muselo také dojít k úpravám některých prahů. Tabulka 9.1 tyto změny shrnuje. I přes změny v prazích se ukázalo, že je potřeba zavést skórovací mechanismus. Vzhledem k tomu, že celkem šlo pouze o 5 proměnných, bylo počáteční skóre stanoveno na 0 a s každým splněním dané podmínky bylo přičteno ke skóre 1. Hranici pro detekci pádu bylo překročení skóre 3. Poslední fází bylo už pouze kontrola polohy mobilu, ve které se zjišťovalo, zda mobil neskončil ve vodorovné poloze. Pokud bylo rozhodnuto o pádu osoby, bylo dáno znamení o pádu a dle nastavení odesláno upozornění. V případě upozornění na pád aplikace dále funguje. Nastaví tedy proměnné do výchozích pozic a opět pokračuje v hledání pádu. Oznamení o již proběhlém pádu je přitom ponecháno na displeji do doby jeho zrušení.

Tabulka 9.1 Změny v hranicích a výpočtech charakteristik pádu

název	Původní práh	Upravený práh
začátek pádu	poslední vzorek pod 0,8 g ihned následovaný nad 1,5 g	První vzorek > 1,5 g
IDI	320 ms	320 ms
MPI	5,8 g	5,8 g
MVI	0,24 g	Interval (0,24 g – 0,6 g)
PDI	kolem 80 ms	40 ms
PDI	kolem 80 ms	hodnota < IDI

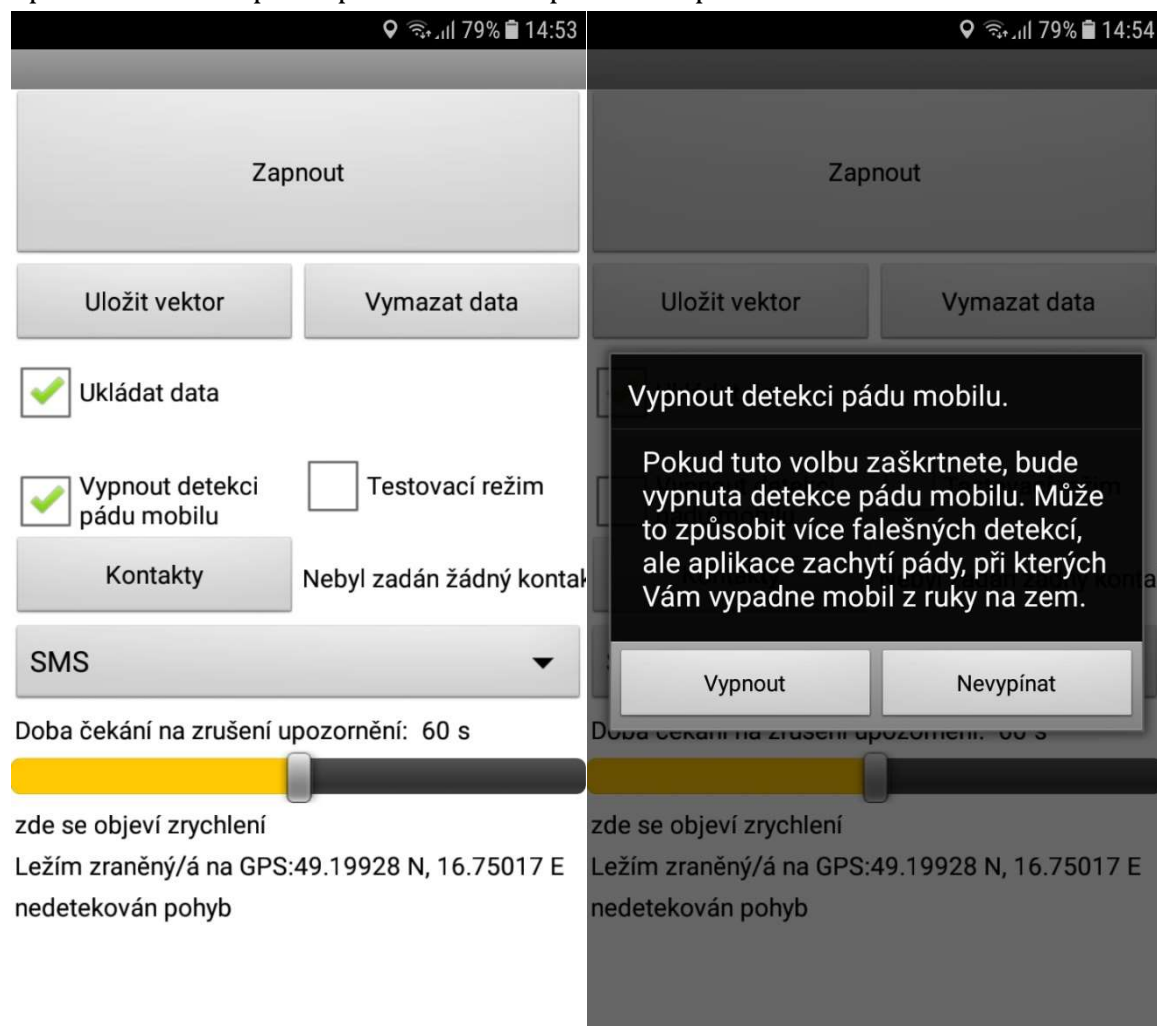


Obrázek 9.1 Diagram algoritmu aplikace pro Android

9.3 Nastavení aplikace

Po zapnutí aplikace je možnost mírně upravit některé vlastnosti detektoru. Pro správnou funkci aplikace je předpokládáno povolení všech oprávnění, jako je např. přístup ke kontaktům, určování pozice mobilu atd. Možnosti, které nastavení přináší a jejich důvody budou rozebrány v následujících podkapitolách. V aplikaci není žádný kontrolní mechanismus pro kontrolu nastavení kontaktu,

pokud tedy kontakt nebude zadán, zobrazí aplikace chybu až ve fázi odesílání upozornění. Toto platí i pro nastavení oprávnění aplikace.



Obrázek 9.2 Nastavení aplikace a zobrazení upozornění při vypnutí detekce polohy mobilu

9.3.1 Ukládání dat

Aplikace umožňuje do mobilního telefonu ukládat data o proběhlém pádu, ale i o událostech, které detektor nemusel vůbec klasifikovat jako pád, např. vlivem detekce aktivity po pádu. Tato funkce byla přidána především kvůli testování aplikace a jejímu vývoji. Data jsou ukládána ve formátu .csv. Do jednoho souboru jsou ukládány vektory *Aom* (vektor.csv) a do druhého souboru jsou ukládány některé charakteristiky pádu (info_k_vektorum.csv). Ukládané charakteristiky jsou: čas pádu, IDI, MPI, MVI a PDI. Mezi charakteristiky je ukládán i čas a datum kdy došlo k pádu a je zde i možnost vložení poznámky. Soubory jsou ukládány do kořenového adresáře v mobilním telefonu. Vzhledem k poněkud zvláštnímu ukládání dat v MIT App Inventoru je nutné data po načtení do počítače upravit smazáním části textu v první buňce, který je označen textem „Čas, kterou je nutné

ručně smazat.“ Automatické ukládání dat je možné vypnout a je možné také nasbíraná data vymazat.

9.3.2 Kontrola pádu mobilu

Jde o část algoritmu, která se nachází až téměř na konci detekce a zjišťuje se poloha mobilu po proběhlém pádu. Lze tak zjistit, zda mobil leží běžně na zemi a došlo tedy k pádu mobilu, nebo zda došlo k pádu, při kterém mobil neskončil ve vodorovné pozici a jde tudíž o pád osoby. Samozřejmě mohlo dojít k pádu osoby, které vypadl mobil z ruky, a proto byla tato možnost přidána. V aplikaci je nahrazena spojením „kontrola pádu mobilu“. Stejně jako v kap. 8.3.5 jde o detekci na původně nasnímaných datech a kontroluje se zrychlení ve vektoru Z a jeho blízkost $1g$ a na vektoru X a Y blízkost nulovému zrychlení. Při pokusu vypnout tuto funkci se otevře okno, které upozorňuje před možností zvýšení počtu falešných detekcí.

9.3.3 Testovací režim

Při testování aplikace nakonec nebyl testovací režim reálně použit, protože jde odeslání upozornění odvolat, ale byl do aplikace zahrnut pro testování jinými uživateli. Pokud je tato funkce zapnuta, po detekovaném pádu zazní zvukové upozornění a mobil vibruje, ale pokud uživatel klikne na možnost „Odeslat upozornění“, nebo naopak bude čekat na uplynutí doby nastavené na zrušení upozornění, pouze se zobrazí informace, že došlo k odeslání upozornění, ale k jeho odeslání nedojde. Informace o odeslaném upozornění byla zařazena pro kontrolu uplynutí nastaveného času.

9.3.4 Výběr kontaktu a forma upozornění

Další nastavitelnou položkou je kontakt, na který bude odesláno upozornění. Některé testovací mobily poskytovaly telefonní číslo ve formátu např. 00-42-123456789, které však poté nebyly schopné zpracovat a odeslat na něj upozornění, proto byla zařazena také kontrola vybraného čísla a případně jeho úprava do správného formátu. Kontakt lze zadat pouze jeden. Zadaný kontakt se poté zobrazí vedle tlačítka výběru kontaktu ve formátu, který byl zadán, případně upraven.

Lze si vybrat, zda na daný kontakt bude zaslána zpráva, jejíž text je defaultně nastaven na text „Ležím zraněný/á na GPS: NN.NNNNN N, EE.EEEEE E“ (po načtení GPS souřadnic se samozřejmě text upraví), nebo zda bude vyvolán telefonní hovor.

9.3.5 Doba čekání na zrušení upozornění

Defaultně je nastavena na 60 s, ale lze si vybrat libovolný čas v sekundách od 10 s do 120 s. Pokud dojde k detekci pádu a nebude pád odvolán, dojde po uplynutí této doby k odeslání upozornění.

9.4 Upozornění na pád

Pokud dojde k detekci pádu, je tato skutečnost signalizována vibrováním mobilního telefonu a zvukovým signálem. Mobil vibruje 5 s, zvuk je přehrán pouze jednou. Zároveň dojde k zobrazení upozornění, které se uživatele ptá, zda opravdu spadl. Pokud šlo o falešnou detekci, má uživatel možnost volání pomoci zrušit. Pokud šlo o správnou detekci pádu osoby, může uživatel přivolat pomoc ihned, čehož by však neměl být schopen, neboť aplikace měří, zda se ve chvílích po pádu mobil pohybuje či ne, nebo může čekat dle nastaveného času na automatické přivolání pomoci. Zde je nutno podotknout, že lepším nastavením je odesláním SMS zprávy, neboť pokud osoba upadne po pádu do bezvědomí, telefonní hovor s blízkou osobou k ničemu nebude. Jak již bylo popsáno ve dřívější kapitole, SMS bude ve tvaru „Ležím zraněný/á na GPS: NN.NNNNN N, EE.EEEEE E“. Pod upozorněním na detekovaný pád je na obrázku vidět ještě další upozornění, které se však objevilo dříve a jde o možnost uložení poznámky k záznamu pádu. Upozornění na pád toto upozornění pouze překrylo a po odkliknutí některého ze dvou tlačítek je možné poznámku zadat.



Obrázek 9.3 Zobrazení detekovaného pádu

9.5 Omezení aplikace

Vytváření aplikace pro Android v MIT App Inventoru s sebou přineslo řadu obtíží. Některé byly jednoduché a pramenily spíše ze zvyku programování s určitými funkcemi, jiné se ukázaly jako neřešitelné.

9.5.1 Běh aplikace na pozadí

Největším problémem pro využití aplikace vytvořené v této práci se stala skutečnost, že aplikace vytvořené v MIT App Inventoru nemohou běžet na pozadí. Krom toho se ještě po určité době běhu sama vypne, takže pokud by někdo aplikaci přeci jen chtěl využívat, musel by ji zapínat znovu vždy, když se mu automaticky zamkne obrazovka a znovu ji nastavovat. Systém Android vypíná aplikace, které jsou podle něj zbytečné a pouze ubírají mobilu energii a výpočetní prostor. Vývojáři MIT App Inventoru již připravili verzi, ve které by částečně šlo některé procesy nechat na pozadí spuštěné, ale kvůli změnám v systému Android 8.0 Oreo se ji rozhodli nevydat. [21]

9.5.2 Uložení nastavení

Vytvořená aplikace neumožňuje nijak ukládat nastavení, což znamená, že při každém spuštění aplikace je nutné znovu nastavit např. telefonní číslo pro odeslání zprávy. Řešením by bylo ukládat nastavení do .csv souboru, ze kterého by se nastavení vždy znovu načítalo. Toto řešení není ani příliš náročné, ale vzhledem k tomu, že aplikace v reálném provozu fungovat stejně nemůže, bylo vyhodnoceno, že pro testování detekce a daného kódu není potřeba ukládání nastavení vytvářet.

9.5.3 Volání pomoci

Při prvním spuštění aplikace při prvním detekovaném pádu se varovná zpráva, příp. telefonní hovor neodešlou na zvolené číslo, ale pouze se číslo zobrazí v mobilní aplikaci, která je určena k zadávání telefonního čísla. K odeslání zprávy/vyvolání hovoru je nutné ještě toto číslo znovu potvrdit. To je způsobeno především nutností povolit přístup k hovorům/SMS. Dále se však problém objevuje vždy při spuštění aplikace, takže kromě toho, že uživatel musí znovu zadat např. telefonní číslo, musí také odzkoušet pád, aby při případném pádu osoby byla pomoc opravdu zavolána a nezobrazilo se pouze číslo, jehož vytočení by osoba upadlá na zem musela ještě potvrdit. Řešením tohoto problému by mohlo být ukládání dat z nastavení, nebo další tlačítko, které by vždy po nastavení odzkoušelo funkčnost této části algoritmu. Po odzkoušení pádu se již varovné upozornění odesílá automaticky.

9.5.4 Výpočet vektorů

Vzhledem k tomu, že MIT App Inventor není předně určen k matematickým operacím, případně vůbec k počítání s vektory, byly tyto operace značně náročné a na výsledném výpočtu hodnot je to i poznat. Pokud aplikace kontroluje některé údaje, na chvíli se zasekne, aby provedla patřičnou operaci. Nepodařilo se zjistit a ověřit, zda když aplikace počítá, nahrávají se data do vektoru, a přepisují se tak zrovna aktuální data, nebo se tyto data vůbec nenahrávají a jsou tedy vynechána. Problémy nebyly zaznamenány, a tak je také možné, že data jsou do aplikace dodána zpětně poté, co si provede potřebné výpočty.

V MIT App Inventoru se velmi těžko pracuje s vektorem. Je to především proto, že takovou možnost vůbec neumožňuje. Místo vektoru lze data ukládat do listu, který je však v jistých ohledech poněkud specifický. Pokud je požadováno např. vytvořit prázdný list, aby do něj mohly být následně ukládány hodnoty, vytvoří se list, ve kterém bude uložena proměnná `""`. Pokud je tedy potřeba provádět nějaké matematické operace, je potřeba tuto proměnnou nejdříve smazat, aby tyto operace mohly být provedeny. Je sice možno vložit speciální již vytvořený blok do MIT App Inventoru, který by umožňoval pohodlnější počítání s vektory, ale ten zase neumožňoval ukládání dat, či jejich zobrazení, což obzvláště ve fázi vytváření aplikace bylo naprosto nemyslitelné.

Problém rychlosti výpočtů pramení pravděpodobně tedy jednak v ukládání dat do listu a poté v jejich indexaci. Např. na vyhledání minima, nebo maxima v určitém úseku dat, bylo potřeba vytvořit for cyklus, který postupně porovnával všechna čísla v daném úseku listu.

9.5.5 Vzorkovací frekvence

Původně měla být aplikace tvořena pro vzorkovací frekvenci 100 Hz, aby se tak co nejvíce podobala vytvořenému algoritmu v Matlabu. MIT App Inventor umožňuje nastavení jakéhokoli vzorkování, ale následně vytvořená aplikace vzorkovala s frekvencí 50 Hz a to i v případě, že bylo nastaveno původních 100 Hz. Algoritmus tak tedy nefungoval, neboť byl nastaven na 100 Hz, ale mobil vzorkoval jinou frekvencí. Informace o této chybě se nepodařilo nikde dohledat, a tak byla konkrétní hodnota vzorkovací frekvence, která odpovídala realitě, hledána postupným načítáním hodnot do vektoru a po jeho naplnění se zobrazila zpráva na displeji „vektor byl naplněn“. Pomocí stopek bylo změřeno, že při délce vektoru 1000 vzorků a vyšších vzorkovacích frekvencích než 50 Hz, byla vždy doba naplnění vyšší, než by plnění vektoru mělo trvat. Při 50 Hz byla doba zaplnění vektoru kolem 20 s. Drobné rozdíly v čase zaplnění vektoru byly přičteny chybám v nesynchronizovaném stopnutí času. Vzorkovací frekvence tedy byla stanovena na 50 Hz jako nejvyšší možná pro aplikace vytvořené v MIT App Inventoru.

9.6 Zhodnocení algoritmu

Ke zhodnocení úspěšnosti detekce pádu osoby pomocí mobilní aplikace byla použita senzitivita (Se), specifická (Sp) a přesnost, které byly vypočítány dle vzorců 8.1, 8.2 a 8.3. Simulace prováděly 2 osoby.

Hodnoceno bylo 76 záznamů. Jednotlivé hodnoty byly ručně spočítány a výsledky byly: TP=50, TN=12, FP=6, FN=8. Výsledná senzitivita tedy je Se=85 %, specifická Sp=66 % a přesnost Ac=82 %. Aplikace byla testována pouze v základním nastavení, neboť rozdíl by byl pouze u pádů, u kterých by bylo simulováno vypadnutí mobilu z ruky, což by poté záleželo pouze na počtu těchto simulací a znehodnotilo by to výsledky. Specifická testu je sice menší, ale v aplikaci je také zahrnuto čekání na odeslání upozornění, během kterého má možnost uživatel zrušit odeslání upozornění. Aplikace byla testována na telefonech Samsung Galaxy J5 (2016) SM-J510FN, Asus ZenFone GO ASUS_X00AD, Nokia 3 TA-1032, Xiaomi Redmi Note 5a Prime MDG6S a Xiaomi Mi A2 Lite M1805D1SG pro zjištění správné funkce aplikace. Kromě již uvedených nedostatků nebyla žádná chyba objevena.

9.7 Porovnání s jinými aplikacemi

K porovnání s jinými aplikacemi bylo použito více mobilů, aby mohly být zejména statistické hodnoty vypočteny ze stejných záznamů. Ke srovnání byly použity aplikace uvedené v kap. 3 a mimo statistických hodnot jako je Se, Sp a přesnost jsou uvedeny i další parametry aplikací, které byly zhodnoceny jako důležité při výběru aplikace pro mobilní telefon.

Statistické výpočty byly vypočteny na základě simulací autora práce. Aplikace Fade: fall detector a Emergency Fall Detector byly již z Google Play staženy (k datu 14. 5. 2019) a nemohlo tak dojít k nainstalování do nových zařízení. Aplikace, vytvořená v této práci, byla testována na mobilu Nokia 3 TA-1032, aplikace Fall Warner na mobilu Asus ZenFone GO ASUS_X00AD a zbývající 2 aplikace, tedy Fade: fall detector a Emergency Fall Detector, byly testovány na mobilu Samsung Galaxy J5 (2016) SM-J510FN, neboť zde zůstaly z doby zkoušení jejich uživatelského rozhraní a funkčnosti. Aplikace Fall Warner byla od doby testování aktualizována a její GUI se mírně změnilo. Je možné, že byl změněn i algoritmus detekce.

Aplikace, které umožňovaly nastavení citlivosti byly nastaveny na střední citlivost. Statistické hodnoty byly vypočítány na základě 20 simulací pádů osoby, 5 pádů mobilu a 1 minuty běžného pohybu v domácnosti. Tabulka 9.2 zobrazuje testovanou aplikaci, hodnoty TP, TN, FP, FN, Se, Sp, P_r a hodnocení funkčnosti aplikace. Pokud nebyla nalezena žádná chyba, přímo ovlivňující chod aplikace, byla funkčnost hodnocena jako dobrá. Podrobnější informace o aplikacích jsou uvedeny

v kapitole 3. Aplikace Emergency Fall Detector byla nejcitlivější a reagovala téměř na každé vložení do kapsy a někdy reagovala i při běžné chůzi. Na pády však zareagovala pokaždé. Aplikace Fade: fall detector reagovala na většinu pádů osoby, ale také na většinu pádů mobilu. Aplikace Fall Warner správně reagovala výjimečně. Pro výpočet statistických hodnot pro aplikaci vytvořenou v této práci byly použity pouze hodnoty ze společných simulací s ostatními aplikacemi, aby mohly být aplikace porovnány. Vložení do kapsy se nezapočítávalo jako správně negativní hodnota (TN).

Tabulka 9.2 Srovnání aplikací

	TP	TN	FP	FN	Se	Sp	Př	Funkčnost
Emergency Fall Detector	16	1	21	4	80	5	40	Příliš citlivé
Fade: fall detector	14	1	4	6	70	20	60	Dobrá
Fall Warner	4	5	0	16	20	1	36	Dobrá
Vytvořená aplikace	14	4	1	6	70	80	72	Nejede na pozadí

Z testovaných aplikací by autor práce doporučil používat aplikaci Fade: fall detector, ta ale již nejde stáhnout z Google Play.

10 DISKUSE

Pro rozpoznání pádu člověka, byla vytvořena aplikace a testována na 76 simulacích pádu. Aplikace byla porovnána s ostatními aplikacemi, které jsou uvedené v této práci, a vyhodnocena jako nejpřesnější, ale ve výsledku nefunkční, neboť nejede na pozadí. Je to dáno omezením prostředí MIT App Inventoru, ve kterém byla aplikace vyvíjena. Aplikace a její popis však může posloužit pro vývoj funkční aplikace, která by mohla mít další kontrolní mechanismy, které byly nastíněny v kapitolách o hardwaru.

Vytvořená aplikace dosahovala lepších hodnot ve statistickém zhodnocení, ale výrazně zaostává v uživatelském rozhraní. Aplikace neumožňuje nijak měnit text odesílané SMS, ani měnit zvukové upozornění a umožňuje pouze jedno kontaktní číslo. Také se aplikace vypíná vždy po zamčení displeje telefonu. Výhodou aplikace je možnost ukládat do paměti zařízení data o pádu, příp. o proběhlém pohybu, což by mohlo dále pomoci při vývoji aplikace. Prvek, který v uvedených aplikacích není, je detekce pádu mobilu. Tato funkce může odhalit spoustu falešných pozitivních detekcí pádu osoby a zvýšit tak přesnost aplikace. Nevýhodou této funkce je však možnost vypadnutí mobilu z ruky při probíhajícím pádu, např. pokud někdo zakopne při psaní SMS, a následném nedetekování pádu osoby.

Případné pokračování ve vývoji aplikace pro detekci pádu osoby by se zaměřilo hlavně na vytvoření aplikace v jiném programovacím jazyku, např. JAVA, a byl by využit algoritmus detekce, který byl vytvořen i v Matlabu. Vytvořená aplikace by tak mohla být nejen funkční, ale také ještě přesnější a ve výsledku tedy lepší. Aplikace by dále mohla být upravena pro nositelnou elektroniku, např. hodinky, aby uživatel nemusel mít mobil vždy u sebe, ale mohl se např. po bytě pohybovat bez něj.

Je nutné ještě upozornit na skutečnost, že většinu simulací pádů prováděl autor práce a mohlo tak dojít k ovlivnění výsledků. Ačkoli byla snaha o co nejmenší ovlivnění pádů, podvědomě pravděpodobně simulant padal tak, aby aplikace vytvořená v této práci pád zaznamenala. Jako příklad může posloužit situace, kdy simulace prováděla druhá osoba. První 4 pády osoby aplikace nezaznamenala, poté již ale zaznamenala téměř všechny pády osoby. Přirozeně mohlo jít o náhodu, ale u autora práce to vzbudilo pochybnosti, zda simulace nebyly z jeho strany ovlivněné. Zvýšení přesnosti simulací by mohlo být uskutečněno jednak zvýšením počtu simulantů a také posouzením pádů od specialisty, např. gerontologa, tedy lékaře, který se zaměřuje na seniory, a byl by tedy kompetentní k posouzení podobnosti pádů reálných a simulovaných. Nejlepším způsobem získání dat by bylo sesbírat data z reálných pádů osob, např. z nemocnic, a následně vyvíjet algoritmus na těchto datech, na kterých je následně i testovat.

11 ZÁVĚR

Velké procento lidí je ohroženo pádem, který jim může způsobit trvalá zranění. Některé osoby si po pádu nemohou pomoci sami a je nutné jim přivolat pomoc. k tomu mohou sloužit mimo jiné i aplikace pro chytré telefony, které odhalí pád a pomoc přivolají. Takové aplikace již existují a s menší či větší přesností detekce mohou být použity. V práci byly popsány hardwarové součásti mobilů, které mohou být použity při detekci pádu osoby. Dále byly nasnímány záznamy pádu osoby při různých mechanismech pádu a různých polohách mobilu, aby bylo posouzeno, zda má vliv umístění mobilu na záznam pádu, či ne. Takový vliv nebyl potvrzen. Dále byly zpracovány informace o dostupných algoritmech detekce, na jejichž základě byl vytvořen algoritmus detekce pádu osoby v Matlabu. Algoritmus je založen především na skórovacím mechanismu, ve kterém se hodnotí maximálně 8 parametrů. Vzorkovací frekvence byla 100 Hz. Algoritmus byl testován na 58 záznamech. Výsledná senzitivita je $Se = 97 \%$, specifická $Sp = 100 \%$ a přesnost $Ac = 98 \%$.

Vytvořená aplikace pro mobilní telefon se systémem Android se od algoritmu v Matlabu liší v množství posuzovaných parametrů a ve vzorkovací frekvenci. Celkem se posuzuje 5 parametrů, které v Matlabu spadaly do jednoho a vzorkovací frekvence byla 50 Hz. Ke změně daných parametrů bylo přistoupeno vzhledem k možnostem MIT App Inventoru, ve kterém byla aplikace vytvářena. Možnosti tohoto programovacího prostředí také neumožňují běh aplikace na pozadí, takže vytvořená aplikace nemůže být v praxi použita, neboť se vždy při zamčení mobilu vypne. V obou algoritmech je přidán prvek detekce pádu mobilu, který zmenšuje možnost falešně pozitivní detekce pádu osoby. Aplikace byla testována na 76 simulacích a výsledné hodnoty byly: senzitivita $Se = 85 \%$, specifická $Sp = 66 \%$ a přesnost $Ac = 82 \%$.

BIBLIOGRAFIE

- [1] *Využívání informačních a komunikačních technologií v domácnostech a mezi jednotlivci - 2018: Používání mobilního telefonu a internetu na mobilním telefonu* [online]. Praha: Český statistický úřad, 2018 [cit. 2018-11-28]. Dostupné z: <https://www.czso.cz/documents/10180/61508128/0620041823.pdf/62afeb86-2c8f-4b8f-9dd2-cd5873ce02a9?version=1.2>
- [2] BÓRIKOVÁ, Ivana. Rizikové faktory pádu u hospitalizovaných pacientů. *Praktický lékař* [online]. 2017, **19**(4), 163-168 [cit. 2018-12-13]. Dostupné z: <https://www.prolekare.cz/casopisy/prakticky-lekar/2017-1/rizikove-faktory-padu-u-hospitalizovanych-pacientov-60394>
- [3] Sledování pádů u hospitalizovaných pacientů v roce 2015. *Česká asociace sester* [online]. Praha: Česká asociace sester, 2015 [cit. 2019-04-13]. Dostupné z: https://www.cna.cz/docs/tiskoviny/zaverecna_zprava_pady_2015.pdf
- [4] Falls. *World Health Organization* [online]. Ženeva: World Health Organization, 2018 [cit. 2018-12-13]. Dostupné z: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/falls>
- [5] HRADECKÁ, Lenka. Problematika pádů u geriatrických pacientů v ZZ. *Zdravotnictví a medicína* [online]. Praha: Mladá fronta a.s., 2011 [cit. 2018-12-13]. Dostupné z: <https://zdravi.euro.cz/clanek/sestra/problematika-padu-u-geriatrickych-pacientu-v-zz-459331>
- [6] POKORNÁ, Andrea. Metodika sledování nežádoucích událostí PÁD na pracovištích Agentur domácí zdravotní péče (ADP): Plná verze metodiky. In: *Ústav zdravotnických informací a statistiky ČR* [online]. Praha: Ústav zdravotnických informací a statistiky ČR, 2017 [cit. 2018-12-13]. Dostupné z: http://shnu.uzis.cz/res/file/metodicke_dokumenty/ADP_metodika_pad.pdf
- [7] Aplikace: Obchod. *Google Play* [online]. Mountain View: Google, 2018 [cit. 2018-12-14]. Dostupné z: https://play.google.com/store/apps/collection/search_results_cluster_apps?c lp=ggEPCg1mYWxsIGRldGVjdG9y:S:ANO1ljgrLc&gsr=ChKCAQ8KDWZhbGwgZGV0ZWNO0b3I%3D:S:ANO1ljKEWOQ
- [8] *Mathworks: Help: Accelerometer* [online]. Natic: Mathworks, 2018 [cit. 2018-11-28]. Dostupné z: https://www.mathworks.com/help/supportpkg/android/ref/accelerometer.html?searchHighlight=accelerometer%20android&s_tid=doc_srchtile
- [9] VOJÁČEK, Antonín. *Vývoj HW: Jak pracují nové 3D MEMS akcelerometry*

- Freescale?* [online]. 2007 [cit. 2018-11-28]. Dostupné z: <https://vyvoj.hw.cz/soucastky/jak-pracuji-nove-3d-mems-akcelerometry-freescale.html>
- [10] *Gizmodo: All the Sensors in Your Smartphone, and How They Work* [online]. New York City: Gizmodo Media Group, 2017 [cit. 2018-12-12]. Dostupné z: <https://gizmodo.com/all-the-sensors-in-your-smartphone-and-how-they-work-1797121002>
- [11] VOJÁČEK, Antonín. MEMS mikrofony – obecný popis struktury a funkce. *Automatizace HW* [online]. Praha: HW server s.r.o., 2010 [cit. 2018-12-15]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/mems-mikrofony-obecny-popis-struktury-a-funkce>
- [12] Elektrodynamický reproduktor. *Encyklopedie Fyziky* [online]. Praha: Jaroslav Reichl, 2007 [cit. 2018-12-15]. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/400-elektrodynamicky-reproduktor>
- [13] *Svět hardware: Jak funguje GPS?* [online]. Brno: Svět hardware, 2006 [cit. 2018-11-19]. Dostupné z: <https://www.svethardware.cz/jak-funguje-gps/21826>
- [14] Galaxy S8+: Specifikace+. *Samsung* [online]. Soul: Samsung, 2017 [cit. 2018-12-12]. Dostupné z: <https://www.samsung.com/cz/smartphones/galaxy-s8/spec-plus/>
- [15] Iphone 8: Technické specifikace. *Apple* [online]. Cupertino: Apple, 2017 [cit. 2018-12-12]. Dostupné z: <https://www.apple.com/cz/iphone-8/specs/>
- [16] Going Mobile: Smartphone/tablets. *Usegalileo* [online]. Paříž: Evropská kosmická agentura, 2017 [cit. 2018-12-12]. Dostupné z: <https://www.usegalileo.eu/EN/inner.html#data=smartphone>
- [17] Sense-it (sensors). *Google play* [online]. Mountain View: Google, 2018 [cit. 2018-12-16]. Dostupné z: <https://play.google.com/store/apps/details?id=org.greengin.sciencetoolkit&hl=cs>
- [18] HSU, Yu-Wei, Kuang-Hsuan CHEN, Jing-Jung YANG a Fu-Shan JAW. Smartphone-based fall detection algorithm using feature extraction. *2016 9th International Congress on Image and Signal Processing, BioMedical Engineering and Informatics (CISP-BMEI)* [online]. IEEE, 2016, , 1535-1540 [cit. 2018-12-13]. DOI: 10.1109/CISP-BMEI.2016.7852959. ISBN 978-1-5090-3710-0. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/document/7852959/>
- [19] BAI, Ying-Wen, Siao-Cian WU a Cheng-Lung TSAI. Design and implementation

- of a fall monitor system by using a 3-axis accelerometer in a smart phone. *IEEE Transactions on Consumer Electronics* [online]. 2012, **58**(4), 1269-1275 [cit. 2018-12-13]. DOI: 10.1109/TCE.2012.6414995. ISSN 0098-3063. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/document/6414995/>
- [20] ABBATE, Stefano, Marco AVVENUTI, Francesco BONATESTA, Guglielmo COLA, Paolo CORSINI a Alessio VECCHIO. A smartphone-based fall detection system. *Pervasive and Mobile Computing*. 2012, **8**(6), 883-899. DOI: 10.1016/j.pmcj.2012.08.003. ISSN 15741192. Dostupné také z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1574119212000983>
- [21] PATTON, Evan. MIT APP INVENTOR applications running in background. In: *MIT App Inventor Forum* [online]. Mountain View, USA: Google, 2018 [cit. 2019-04-11]. Dostupné z: https://groups.google.com/forum/#!category-topic/mitappinventortest/chrome/WPtQfvrg_xk